

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA - POLO 47

JOSÉ ALVINO SOUSA FERREIRA

SEQUÊNCIA DIDÁTICA APLICADA AO ENSINO MÉDIO PARA ESTUDO DA
DIFRAÇÃO DA LUZ UTILIZANDO MATERIAIS ALTERNATIVOS

SÃO LUÍS - MA
2020

JOSÉ ALVINO SOUSA FERREIRA

**SEQUÊNCIA DIDÁTICA APLICADA AO ENSINO MÉDIO PARA ESTUDO DA
DIFRAÇÃO DA LUZ UTILIZANDO MATERIAIS ALTERNATIVOS**

Dissertação apresentada ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Eder Nascimento Silva

SÃO LUÍS - MA
2020

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a)
autor(a).

Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Sousa Ferreira, José Alvino.

Sequência Didática Aplicada Ao Ensino Médio Para Estudo Da
Difração Utilizando Materiais Alternativos / José Alvino Sousa
Ferreira. - 2020.

166 p.

Coorientador(a): Edson Firmino Viana de Carvalho.

Orientador(a): Eder Nascimento Silva.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Rede - Ensino de Física em Rede Nacional/ccet, Universidade
Federal do Maranhão, São Luis, 2020.

JOSE ALVINO SOUSA FERREIRA

**SEQUENCIA DIDÁTICA APLICADA AO ENSINO MEDIO PARA
ESTUDO DA DIFRAÇÃO DA LUZ UTILIZANDO MATERIAIS
ALTERNATIVOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo UFMA, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 29 de dezembro de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Eder Nascimento Silva
(Orientador) Doutor em Física
Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Jerias Alves
Batista Doutor em Física
Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Edvan Moreira
Doutor em Física
Universidade Estadual do Maranhão

Dedico àqueles que me apoiaram diretamente ou indiretamente: Dr. Eder Nascimento Silva, Dr. Edson Firmino Viana de Carvalho e Dra. Maria Consuelo.

AGRADECIMENTOS

A DEUS por permitir que eu desenvolvesse este trabalho.

A meu pai JULIO RAIMUNDO FERREIRA e minha mãe ISABEL SOUSA FERREIRA pelo incentivo.

A ANTONIA VIANA CANTUARIO que sempre me incentivou nos estudos.

A minha esposa ELIENE DE ARAUJO MACHADO por estar ao meu lado apoiando decisões.

A professora Dra. MARIA CONSUELO ALVES LIMA por me redirecionar na jornada que culminou com este trabalho.

Ao Coordenador do Mestrado Dr. EDSON FIRMINO VIANA DE CARVALHO que implantou esta etapa de ensino na Universidade Federal do Maranhão e empreende esforços no sentido de melhorias e manutenção do programa de pós-graduação em ensino de Física.

Ao meu orientador Professor Dr. EDER NASCIMENTO SILVA pela paciência, incentivo e colaboração em todos os momentos.

Ao Professor Dr. EDUARDO MORAES DINIZ que me oportunizou momentos de grande aprendizado em suas aulas e conversas.

Ao amigo Professor Dr. ANTONIO PINTO NETO que proporcionou grande aprendizado na elaboração de trabalhos.

Ao Professor Dr. JERIAS ALVES BATISTA que demonstrou enorme conhecimento na física e proporcionou grande aprendizado durante suas aulas.

A Dra. KARLA SOUSA por me auxiliar durante o desenvolvimento deste trabalho.

Às Diretoras KATIA LIMA E SONIA PEARCE pela concessão da construção deste trabalho.

A CAPES, pelo apoio financeiro por meio da bolsa concedida.

Ao grande amigo PEDRO FONTES que me deu muito apoio na elaboração deste trabalho.

A todos meus colegas do mestrado: AJAX, GLADSTON, MOISES, JOSE RAIMUNDO, BERREDO, JULIANA, DJAMILTON, ANTONIO CARLOS, GABRIEL e demais não citados, pelas discussões sobre o ensino, apresentações de seminário, ideias e conselhos.

"Você nunca achará o arco-íris se estiver olhando para baixo." Chaplin

RESUMO

Para alunos do ensino médio “Física é difícil”, e quando tratada sem contexto e clareza passa despercebido para o aluno a beleza da ciência. O presente trabalho visa Auxiliar professores do Ensino Médio de Física produzindo uma Sequência Didática utilizando materiais alternativos para estudo da Difração da Luz, que as vezes é pouco abordada pelos livros de Física selecionados pelo Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio, sendo que é citada dentro do ensino de ondulatória do segundo ano do Ensino Médio, as vezes de maneira pouco abrangente. Por outro lado, a escolha de construção de uma Sequência Didática deveu-se a uma identificação própria com a abordagem de ensino e iniciou-se sua aplicação com um questionário, em seguida, o desenvolvimento de um Mapa Conceitual para avaliar e nivelar os conhecimentos prévios necessários para o desenvolvimento do tema, depois aplicou-se aula através de diálogo e exposição do tema Difração e após esta ação, desenvolveu-se apresentação de trabalhos, enquanto efetivava-se a avaliação durante suas etapas de execução e por fim efetuou-se uma pesquisa de satisfação para apreciação da metodologia utilizada durante a aplicação da Sequência Didática. A proposta descrita nesse trabalho fundamenta-se nos princípios da Aprendizagem Significativa de David Ausubel e Aprendizagem Significativa Crítica de Marco Antonio Moreira com culminância em: montagem e aplicação de experimentos em difração da luz por um fio de cabelo; rede de difração com CD descartado; produção de cartazes e gravação de vídeo utilizando celular como auxílio no ensino-aprendizagem em Difração. A aplicação da pesquisa e desenvolvimento dos experimentos realizou-se com alunos de duas turmas de terceiro ano em uma escola de Ensino Médio, situada em São Luís, capital do Estado do Maranhão. Para a coleta de dados analíticos, considerou-se a utilização de testes e anotações de registros sobre a aplicação do trabalho. Os resultados quantitativos e qualitativos obtidos nos garantiram algum êxito na aprendizagem significativa. A aceitação da Sequência Didática obteve bons resultados durante avaliação qualitativa uma vez que a abordagem do ensino constituiu uma modalidade diferente na transmissão do conteúdo.

Palavras chaves: Sequência Didática – Difração – Experimentos

ABSTRACT

For high school students “Physics is difficult”, and when treated without context and clarity, the beauty of science goes unnoticed by the student. The present work aims to assist High School Physics teachers by producing a Didactic Sequence using alternative materials for the study of Diffraction of Light, which is sometimes little addressed by the Physics books selected by the National High School Textbook Program, and it is mentioned within the wave teaching of the second year of high school, sometimes in a less comprehensive way. On the other hand, the choice of building a Didactic Sequence was due to its own identification with the teaching approach and its application started with a questionnaire, then the development of a Concept Map to assess and level the previous knowledge. necessary for the development of the theme, then a class was applied through dialogue and exposure of the Diffraction theme and after this action, a presentation of works was developed, while the evaluation was carried out during its stages of execution and finally, a satisfaction survey to assess the methodology used during the application of the Didactic Sequence. The proposal described in this work is based on the principles of Significant Learning by David Ausubel and Critical Significant Learning by Marco Antonio Moreira culminating in: assembly and application of experiments in diffraction of light by a hair; diffraction net with discarded CD; production of posters and video recording using cell phone as an aid in teaching-learning in Diffraction. The application of research and development of the experiments was carried out with students from two third year classes in a high school, located in São Luís, capital of the State of Maranhão. For the collection of analytical data, the use of tests and annotations of records on the application of the work was considered. The quantitative and qualitative results obtained have guaranteed us some success in meaningful learning. The acceptance of the Didactic Sequence obtained good results during qualitative evaluation since the teaching approach constituted a different modality in the transmission of the content.

Keywords: Didactic Sequence – Diffraction - Experiments

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Devido à difração das ondas, as ondas do oceano que entram através de uma abertura natural podem se espalhar por toda a baía.....	33
Figura 2 : Formação de uma onda numa corda.	34
Figura 3 : Elementos de uma onda.	35
Figura 4: Raios de luz representados por retas orientadas.	37
Figura 5 : Cada ponto da frente de onda comporta-se como uma nova fonte de onda.	38
Figura 6: Frentes de onda projetada em uma fenda. À medida que a fenda diminui, fica mais evidente o efeito de difração.	39
Figura 7 : Uma esfera de aço iluminada por um laser vermelho.	40
Figura 8 : Três exemplos de diferença de fase entre duas ondas coerentes.	41
Figura 9 : O experimento de interferência de dupla fenda usando luz monocromática e fendas estreitas. Franjas produzidas pela interferência das ondas de Huygens das fendas s_1 e s_2 são observadas na tela.....	42
Figura 10: Esquema geométrico de duas ondas, representadas pelos raios r_1 e r_2 , passando através das fendas estreitas e interferindo no ponto p.	43
Figura 11: Fasores representando ondas.....	45
Figura 12 : Fasores E_1 e E_2 resultando em E	46
Figura 13 : Padrão de difração e interferência de fenda única. A luz monocromática que passa através de uma única fenda tem um máximo central, o mais brilhante, e máximos secundários (de intensidades menores) e escuros de cada lado. ...	48
Figura 14 : (a) Os raios provenientes da extremidade superior de duas regiões de largura $a/2$ sofrem interferência destrutiva no ponto p_1 . (b) para $d \gg a$, podemos supor que os raios r_1 e r_3 são aproximadamente paralelos e fazem um ângulo θ com o eixo central.	49
Figura 15 : (a) os raios provenientes da extremidade superior de quatro regiões de largura $a/4$ sofrem interferência destrutiva no ponto p_1 . (b) para $d \gg a$, podemos supor que os raios r_1 , r_2 , r_3 , r_4 e r_5 são aproximadamente paralelos e fazem um ângulo θ com o eixo central.	50

Figura 16 : Padrões de difração de fenda única para várias larguras de fenda. À medida que a largura da fenda d aumenta de $d = \lambda$ para 5λ e depois para 10λ , a largura do pico central diminui à medida que os ângulos dos primeiros mínimos diminuem conforme previsto.	52
Figura 17 : Difração de uma fenda dupla. O gráfico mostra o resultado esperado para uma fenda de largura $d = 2\lambda$ e separação da fenda $d = 6\lambda$. O máximo de $m = \pm 3$ ordem para a interferência é ausente porque o mínimo da difração ocorre na mesma direção.....	54
Figura 18 : Rede de difração simplificada.	54
Figura 19: Múltiplas fendas simplificadas.	55
Figura 20: Difração entre duas fendas	56
Figura 21 : Caixa de papelão preparada para o experimento de difração.....	59
Figura 22: Esquema de montagem do experimento.....	60
Figura 23 : Aspectos de um cd.....	61
Figura 24 : Esquema de montagem do experimento.....	62
Figura 25: Exemplo de cartaz.....	64
Figura 26: Exemplo de mapa conceitual	67
Figura 27 : Experimento montado para verificar o efeito da difração no fio de cabelo: turma 304.	69
Figura 28 : Montagem para verificação da difração em um fio de cabelo: turma 305.	69
Figura 29 : Imagem obtida com a incidência do laser sobre o fio de cabelo.	70
Figura 30: Cálculo da espessura do fio de cabelo - Turma 305.	71
Figura 31 : Montagem da Rede de Difração: Turma 304.	72
Figura 32: Montagem para a rede de difração T 305.	72
Figura 33 :Cartazes produzidos na Turma 304.	73
Figura 34 : Cartaz produzido: Turma 305.....	74
Figura 35: Cartazes produzidos na Turma 305.	74
Figura 36: Experimento montado para a produção do vídeo explicativo.	75
Figura 37 :Grupo apresentando o vídeo.....	75

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Amostragem e total de alunos	66
Gráfico 2 – Conhecimentos prévios da turma 305	81
Gráfico 3– Conhecimentos prévios da turma 304	81
Gráfico 4 – Comparação de notas obtidas no teste de conhecimentos prévios entre as duas turmas	81
Gráfico 5 - Notas na 304	86
Gráfico 6 - Notas na 305	88
Gráfico 7 - Comparação de notas nas turmas	89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1– Opinião pessoal da turma 304.....	91
Quadro 1– Opinião pessoal da turma 304.....	92
Quadro 1– Opinião pessoal da turma 304.....	93
Quadro 2– Opinião pessoal da turma 305.....	95
Quadro 2– Opinião pessoal da turma 305.....	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação de notas obtidas durante o questionário de conhecimentos prévios da turma 305	77
Tabela 2– Relação de notas obtidas durante o questionário de conhecimentos prévios da turma 304	79
Tabela 3 - Relação das notas obtidas na Turma 304	84
Tabela 3 - Relação das notas obtidas na Turma 304	85
Tabela 4 - Relação das notas obtidas na Turma 305	87
Tabela 5 - Respostas da T 304 em relação a aceitação da sequência didática.....	90
Tabela 5 - Respostas da T 304 em relação a aceitação da sequência didática.....	91
Tabela 6 – Respostas da T 305 em relação a aceitação da Sequência Didática	94
Tabela 6 – Respostas da T 305 em relação a aceitação da Sequência Didática	95

LISTA DE SIGLAS

UFMA – Universidade Federal do Maranhão

LDB – Lei de Diretrizes e Bases

LDBEN – Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional

PCN – Parâmetros Curriculares Nacionais

SEDUC – Secretaria de Educação do Estado do Maranhão

MEC – Ministério da Educação e Cultura

ENEM – Exame Nacional do Ensino Médio

PIBID – Programa de Integração de Bolsas de Iniciação à Docência

PNLD/EM – Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio

MNPEF – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

SULEE – Supervisão de Estatísticas Educacionais

ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica

FATEC – Faculdade de Tecnologia

CD – Compact Disc

BNCC – Base Nacional Curricular Comum

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	24
1.1.	METODOLOGIA DE ENSINO-APRENDIZAGEM DESENVOLVIDA NESTA PROPOSTA.....	26
1.2.	CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	27
1.2.1.	Objetivo Geral:	27
1.2.2.	Objetivos Específicos:.....	27
2	REFERENCIAL TEÓRICO	29
2.1.	APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL	29
2.2.	APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA DE ANTONIO MOREIRA..	30
2.3.	ASPECTOS RELEVANTES SOBRE A DIFRAÇÃO DA LUZ.....	33
2.3.1.	Elementos de uma onda	34
2.3.2.	Tratamento da Óptica geométrica.....	36
2.3.3.	Tratamento da Óptica Ondulatória.....	37
2.3.4.	Interferência de ondas	42
2.3.5.	Intensidade da Luz no Pontos de Máximos e Mínimos	44
2.3.5.	Difração em fenda única	47
2.3.6.	Dupla Fenda.....	51
2.3.7.	Redes de Difração	54
3	PRODUTO EDUCACIONAL	57
3.1.	SEQUÊNCIA DIDÁTICA	57
3.2.	Experimentos trabalhados em sala de aula	58
3.2.1.	Confecção do experimento da difração sobre um fio de cabelo.....	58
3.2.2.	Experimento sobre redes de difração	61
3.2.3.	Produção de vídeo	62
3.2.4.	Produção de cartazes	63
3.3.	questionario sobre conhecimentos prévios.	65
3.4.	CONSTRUINDO O MAPA CONCEITUAL	66
3.5.	OBSERVAÇÕES SOBRE A AULA	68
3.6.	DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES	68
3.6.1.	Medida da espessura de um fio de cabelo	68
3.6.2.	Redes de difração	71
3.6.3.	Cartazes	73

3.6.4.	Produção de vídeos	75
4.	ANÁLISE DA RESPOSTAS DOS QUESTIONÁRIOS.....	76
4.1.	QUESTIONÁRIO DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS DA TURMA 304 ...	76
4.2.	QUESTIONÁRIO DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS DA TURMA 305.....	77
4.3.	GRÁFICOS.....	80
4.3.1.	Considerações sobre a aplicação do Questionário de conhecimentos prévios	82
4.4.	QUESTIONÁRIO SOBRE DIFRAÇÃO DA LUZ	82
4.4.1.	Análise das respostas da turma 304	83
4.4.2.	Análise das respostas da turma 305	86
4.4.3.	Considerações sobre a aplicação do Questionário 2	89
4.5.	ACEITAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	90
4.5.1.	RESPOSTAS OBTIDAS NA ENTREVISTA DE ACEITAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	90
4.5.2.	Considerações sobre a aplicação do Questionário sobre aceitação da sequência didática.	96
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	98
	REFERÊNCIAS.....	101
	Apêndice I - Questionário sobre concepções de ondulatória.....	109
	Apêndice II - Questionário sobre conhecimentos adquiridos	110
	Apêndice III - Questionário de aceitação da Sequência Didática	113
	Apêndice IV – Sequência didática	114
	Apêndice V – Resumo do material e custos	117
	Apêndice VI – Produto educacional	118

1 INTRODUÇÃO

Ao iniciar-se a docência em Física do Ensino Médio surgem muitas dificuldades no repasse dos conhecimentos, então, busca-se a melhora das aulas no que tange à transposição didática do conteúdo. Uma das dificuldades é a linguagem fora de contexto do aluno do ensino médio, longe de suas compreensões e desvinculada de sua realidade, levando-os, às vezes, a observar a Física como uma disciplina pouco agradável. O resultado é uma desmotivação por parte dos alunos e uma preocupação para professores(as), pedagogos(as) e diretor(es) de escolas, que buscam por um ensino de Física diferenciado que atraia os alunos.

Exercer a função de docente de Física é um grande desafio, alguns professores, devido ao contexto de sua formação acadêmica, encontram-se arraigados em problemas dos antigos livros didáticos de Física para o segundo grau, atual ensino médio, lecionam usando quase que absolutamente a modelagem matemática: só fórmulas e exercícios, relegando ou desconhecendo a fenomenologia tratada e/ou métodos pedagógicos que possam lhes auxiliar didaticamente ao lecionar o conteúdo, o que torna o ensino totalmente conteudista e, às vezes, não extraem nem as siglas como (ITA), (FATEC) e outras do início das questões ao “elaborarem” seus simulados do ENEM ou outras avaliações para aplicações na escola. Exemplifica-se aqui um desses tipos de questão extraída de sites e utilizada por um professor da escola, por meio da qual percebe-se a falta de contextualização.

(Unitau-SP) Um móvel parte do km50, indo até o km 60, onde, mudando o sentido do movimento, vai até o km 32. O deslocamento escalar e a distância efetivamente percorrida são, respectivamente:

- a) 28km e 28km b) 18km e 38km c) 18km e 38km
d) 18km e 18km e) 38km e 18km (MACHADO, 2016)

Para contextualizar a questão acima seria necessário a busca de material mais atualizado, ou remodelar o enunciado desta relacionando o fenômeno ao cotidiano do aluno.

As reclamações ocorrem por parte de alunos tanto em relação à não compreensão dos conteúdos quanto à transmissão destes, e certos docentes, por sua vez, culpam a base matemática do aluno pelo não entendimento do conhecimento

repassado. Convém lembrar, que não são todos os docentes e nem devemos desprezar o uso da matemática nas fórmulas, que se torna indispensável quando contextualizadas com os respectivos fenômenos.

Mas a escola pública, desde as reformulações exigidas pela LDB e PCNs (BRASIL, 1999) nas práticas de ensino de Física, tem passado por uma transformação de paradigmas do tradicionalismo para o construtivismo, um modelo atual que considera os processos cognitivos dos alunos. Porém, essa transformação tem acontecido de forma vagarosa, pois a própria política educacional no país corrobora com atraso na implantação do modelo de ensino atualizado na escola pública. Isso ocorre, principalmente, quando as diretrizes têm descendência vertical e baixo investimento na formação de seus profissionais e, por isso, dispõe-se de uma certa quantidade de professores na linha tradicionalista, os quais aplicam fórmulas e cálculos nas resoluções de exercícios.

Já os professores construtivistas instigam o aluno, propondo-lhe situações-problemas, explicando e orientando experimentos e outras atividades pertinentes à Matriz de Referência de Ciências da Natureza e suas Tecnologias (INEP 2015). Percebe-se que a escola pública está caracterizada com uma mistura de métodos de aprendizagem: Tradicional e Construtivista.

Além das reformulações exigidas pela LDB, houve também um tratamento diferenciado no conteúdo da grade curricular devido ao avanço tecnológico permeado pela ciência, que fez a sociedade repensar o currículo das escolas e, através de análise do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2012 a 2014 e do Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM) de 2009 a 2018, nota-se que o Ministério da Educação (MEC) passou a incluir o ensino da física moderna no ensino médio e, muitas obras, atualmente, já abrangem o conteúdo de física moderna (DOMINGUINI et al, 2012). Esse item não constitui escopo desse trabalho, mas configura como um problema a mais a ser tratado pelo professor de Física. Essa alteração provém, há tempos, dos anseios de Terrazan (TERRAZAN, 1992) a Marisa Almeida (CAVALCANTE; TAVOLARO 2001), reforçada pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional LDB nº 9394/96 (BRASIL 1996) e Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 1999).

Com a promulgação da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN), o Ministério da Educação e Cultura (MEC) efetivou o Exame Nacional do

Ensino Médio (ENEM) e reformulou a Base Nacional Curricular Comum (BRASIL, 2017), promovendo assim mudanças significativas na educação nacional, o que sutil melhora em relação à prática pedagógica significativa dos conteúdos. Apesar dessas mudanças, quando se trata da Física no ensino médio, são raras as escolas públicas do Estado do Maranhão que dispõem de laboratórios didáticos para aulas experimentais ou laboratórios de informática para realizar simulações e, quando existem, estão obsoletos ou desativados.

1.1. METODOLOGIA DE ENSINO-APRENDIZAGEM DESENVOLVIDA NESTA PROPOSTA

Diante das dificuldades e da busca constante pela popularização da física, faz-se necessário a pesquisa e a inserção de novos métodos para tornar seu aprendizado prazeroso e desmitificar que Física seja um “bicho de oito cabeças para os alunos”. Como parte dessa busca pela popularização, propõe-se a construção de uma Sequência Didática, com duração de cinco encontros, baseada na Aprendizagem Significativa de Ausubel e na Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira, na qual se parte da investigação da existência dos conhecimentos prévios dos alunos sobre o conteúdo de óptica - através de um questionário, e reforça-se os Subsunoçores preexistentes, culminando com a formação dos organizadores prévios, por meio da construção de um mapa conceitual relacionado aos conteúdos de Óptica básica.

Segundo Moreira (2005, p. 6):

organizadores prévios são materiais introdutórios apresentados antes do material de aprendizagem em si mesmo, em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade, para servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que deveria saber para que esse material fosse potencialmente significativo ou, mais importante, para mostrar a relacionabilidade e a discriminabilidade entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio..

Em seguida, desenvolve-se o conteúdo sobre difração através de uma aula e, logo após, formam-se equipes de acordo com a identificação do aluno com a proposta de trabalho: fazer cartaz, produzir vídeo e montar experimentos, fornecendo-se a

essas equipes os roteiros de produção e de apresentação dos trabalhos. Nesse cenário, o professor assume o papel de moderador e não de detentor de todo o conhecimento, como prega o ensino tradicionalista.

Para mensurar se houve aprendizagem a partir da nossa proposta pedagógica, aplicamos mecanismos que avaliam a aquisição de novos conhecimentos a partir daqueles já existentes. A avaliação quantitativa é apreciada na coleta dos dados obtidos com os questionários, e a avaliação qualitativa é feita pela observação da participação do aluno na construção e apresentação dos trabalhos, somado a uma pesquisa de aceitação da proposta de ensino. A coleta de dados deve ser efetuada por meio de pesquisa de levantamento de dados composta por entrevistas estruturadas e semiestruturadas com questões abertas e fechadas.

1.2. CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

Um outro aspecto motivante para desenvolver um instrumento que auxilie o ensino de Física é a abordagem da Difração pelos livros didáticos adotados pelo PNLEM. Uma pesquisa nas obras nos mostra que os livros:

Física 2 – Contextos e Aplicações de Antonio Máximo; Beatriz Alvarenga e Física 2 – Compreendendo a Física, são muito abrangentes em relação aos outros e tratam a Difração de forma satisfatória. Diante deste contexto, desenvolveu-se uma Sequência abrangendo Ondulatória com ênfase em Difração e dentro das Competências da Matriz de Referência de Ciências da Natureza e suas Tecnologias: “Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade”(INEP 2015).

1.2.1. OBJETIVO GERAL:

Construir uma sequência didática para estudo da Difração no ensino médio, contribuindo com melhorias no processo ensino-aprendizagem na escola pública, por meio de uma prática pedagógica mais atual.

1.2.2. Objetivos Específicos:

Para que seja bem aceita, limita-se sua abordagem em:

- 1 - Analisar os conhecimentos prévios dos alunos.
- 2 - Selecionar conceitos e experimentos.
- 3 - Enumerar materiais.
- 4 - Montar experimentos para demonstrar o fenômeno da difração.
- 5 - Inferir o nível de aceitação dos experimentos.
- 6 - Justificar a aceitação dos experimentos e da Sequência Didática.

O contexto escolar de aplicação deste trabalho foi em duas turmas do terceiro ano da escola de ensino médio Centro de Ensino Cidade de São Luís, da rede estadual, localizada no bairro Cohab/Anil, onde os moradores são de classe média, mas os alunos que a frequentam são de baixa classe, oriundos de bairros distantes, como Parque Jair, Cidade Operária, São Raimundo, Raposa, etc... A escola de grande porte conta com 5 turmas de primeiro ano, 6 de segundo e 5 de terceiro ano do ensino médio, sendo que a taxa de matrículas não é fixa, sofrendo sempre variação no número de matriculados a cada ano, assim, a escola ajusta-se a cada início de ano letivo com número de turmas não fixo. Uma outra característica da escola em relação ao cenário socioeconômico em que se encontra é que a taxa de aprovação está em torno dos 84%, a taxa de abandono 5,2% e a reprovação 10%, conforme o último censo de 2016 pela Supervisão de Estatísticas Educacionais (SULEE, 2016). Esses dados são característicos da Escola e da comunidade escolar e não representam prejuízo no desempenho da atividade pedagógica.

Para o ensino de Física no turno matutino, a escola conta com 4 docentes lecionando a disciplina: dois professores formados em Física pela Universidade Federal do Maranhão, um formado em Matemática pela Universidade Estadual do Maranhão e o último com formação em Engenharia pela UFMA. Este é um item que muitas vezes deixa a desejar, pois a formação do professor dentro da área é um fator preponderante no ensino-aprendizagem, já que a prática e abordagem de certos conteúdos, às vezes, é repassada ao aluno de maneira tradicional, ou deixada de lado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

3. APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL

De acordo com David Ausubel, para que o aluno entenda um novo conceito e amplie a dimensão deste é necessário que o novo conhecimento tenha bases favoráveis à sua construção, tal qual a edificação de uma casa que necessita das fundações sólidas, assim, para que um sujeito aprenda sobre Difração ele precisa ter, como âncora, alguns conhecimentos básicos, tais como: frequência, interferência construtiva e destrutiva, ondas em fase (ressonância) e fora de fase (defasadas), conhecimentos básicos sobre geometria e outros que formam os seus Subsunoçores. Temos uma Aprendizagem Significativa quando apresentamos um novo conhecimento, por exemplo, a Difração, que tem relação com a base que foi aprendida.

Aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação ancora-se em conceitos ou proposições relevantes, preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Ausubel vê o armazenamento de informações no cérebro humano, como sendo organizado, formando uma hierarquia conceitual, na qual elementos mais específicos de conhecimento são ligados (e assimilados) a conceitos mais gerais, mais inclusivos. Estrutura cognitiva significa, portanto, uma estrutura hierárquica de conceitos que são representações de experiências sensoriais do indivíduo. (MOREIRA, 1999, p153)

Se a base não está suficiente preparada, não possui os alicerces necessários (Subsunoçores pré definidos), é preciso o aperfeiçoamento destes, o qual se faz com o uso de Organizadores Prévios que dão suporte necessários aos Subsunoçores, fortalecendo-os para que o novo conhecimento tenha uma melhor ancoragem.

Para que ocorra a inserção do aluno na aprendizagem significativa é preciso o uso e a aplicação de métodos pedagógicos que o incentivem e despertem o seu interesse (FIALHO; ROSENAU, 2008). Para haver aprendizagem é necessário que os novos conhecimentos possuam bases para sua ancoragem e, segundo Ausubel:

A aprendizagem por recepção significativa envolve, principalmente, a aquisição de novos significados a partir de material de aprendizagem apresentado. Exige que um mecanismo de aprendizagem significativa, quer

a apresentação de material *potencialmente* significativo para o aprendiz. Por sua vez, a última condição pressupõe (1) que o próprio material de aprendizagem possa estar relacionado de forma *não arbitrária* (plausível, sensível e não aleatória) e *não literal* com *qualquer* estrutura cognitiva apropriada e relevante (i.e., que possui significado 'lógico') e (2) que a estrutura cognitiva *particular* do aprendiz contenha ideias *ancoradas* relevantes, com as quais se possa relacionar o novo material. A interação entre novos significados potenciais e ideias relevantes na estrutura cognitiva do aprendiz dá origem a significados verdadeiros ou psicológicos. Devido à estrutura cognitiva de cada aprendiz ser única, todos os novos significados adquiridos são, também eles, obrigatoriamente únicos (AUSUBEL, 2000, p. 17).

Muito se discute sobre a importância do ensino de Física em todos os níveis de escolaridade. Sabe-se que o acesso ao conhecimento científico se dá de diversas formas, e em diferentes ambientes, mas é na escola que a formação de conceitos científicos são aprofundados e explicados para os discentes, lugar apropriado onde a autonomia e a autoria podem acontecer, e tudo depende do método a ser empregado no contexto escolar.

Segundo o que afirma Demo:

Meu objetivo é questionar a maneira como, em geral, se estuda entre nós, sem pesquisa, sem elaboração, sem leitura sistemática, sem desconstrução e reconstrução. Na escola e na universidade, estudar é o que menos se faz, gastando-se o tempo inteiro com aulas e provas. Não que estas não caibam, mas são eventos supletivos, em geral apenas reprodutivos. Entendo por estudar a dedicação sistemática e motivada à desconstrução e reconstrução do conhecimento, na condição de sujeito capaz de interpretar com autonomia. O estudo bem feito sempre resulta em autoria, o que retira do interesse procedimentos de cópia, transmissão, aquisição. Estudar bem não combina com receber conteúdos simplificados, abreviados, resumidos, via aula, de tal sorte que a tarefa que ainda resta para o aluno seria copiar e reproduzir. Nem escola nem universidade descobriram propriamente o que é estudar. (DEMO, 2009, p.14).

4. APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA DE ANTONIO MOREIRA

O ensino não é meramente repasse de conhecimentos e o aluno não é subalterno nesse processo que visa o aprender a aprender, a desconstrução e a reconstrução, pois o que se deve priorizar é a autonomia do aluno na busca do conhecimento e do aprender para que o educando passe a ser autor e o construtor do seu saber. Nesse sentido, o aluno é sujeito ativo do seu conhecimento, ele não só aprende com base nos seus Subsunoçores teoricamente, mas passa a aplicar na sua

realidade. Um exemplo, é quando o aluno aprendeu sobre difração da luz através de seus conhecimentos prévios e passa a distinguir o fenômeno natural, reproduz o efeito, conhece as aplicações e ensina seus colegas.

Também não se pode esquecer que o conhecimento prévio, a interação social e o questionamento oportunizam ao ser humano a compreensão da realidade e a superação de problemas que lhes são impostos diariamente na aquisição de conhecimento (MOREIRA, 2010). Deve-se, então, a partir de uma compreensão de mundo que o aluno carrega consigo, advindo de seu cotidiano, deixar claro que no ambiente escolar suas dúvidas podem ser respondidas, de forma a contextualizar a Física com seus conhecimentos prévios. Conforme afirma Einstein e Infeld:

Os conceitos científicos frequentemente começam com os da linguagem usual para os assuntos da vida cotidiana, mas se desenvolvem de maneira bem diferente. São transformados e perdem a ambiguidade a eles associada da linguagem usual, ganhando em rigor para que possam ser aplicados ao pensamento científico. (EINSTEIN; INFELD, 1980, p. 21)

Moreira (2006) corrobora com esse pensamento, afirmando que toda aquisição de conhecimento pauta-se em conhecimento pré-estabelecido de autores na literatura, ou seja, a própria pesquisa científica não parte do zero e sim de ideias iniciais de outros autores que servem de suporte para novas pesquisas. Porém, apesar de não ter sido desenvolvido no aluno o hábito da pesquisa, o mesmo carrega consigo conhecimento empírico, ainda que seja passado por seus pais e parentes no convívio familiar. Essa perspectiva é o que defende a teoria da aprendizagem significativa como sendo uma forma de conhecimento prévio do aluno, conforme afirma Silva e Shirlo (2014):

Os organizadores prévios podem se apresentar sob a forma de textos, filmes, esquemas, desenhos, fotos, perguntas, mapas conceituais¹, entre outros, que são apresentados ao estudante, em primeiro lugar, em nível de maior abrangência, permitindo a integração dos novos conceitos aprendidos, tornando mais fácil o relacionamento da nova informação com a estrutura cognitiva já existente (SILVA; SHIRLO, 2014, p. 38).

¹ Os mapas conceituais são instrumentos que podem proporcionar mudanças no modo de ensinar, de avaliar e de aprender. Eles visam promover a aprendizagem significativa e entram em choque com técnicas voltadas para aprendizagem mecânica, assim, utilizá-los em toda sua potencialidade, implica em atribuir novos significados aos conceitos de ensino, aprendizagem e avaliação (MOREIRA; BUCHWEITZ, 1987).

A educação básica deve preparar os alunos para o exercício da cidadania proporcionando competências e habilidades através de uma aprendizagem significativa, para que o aluno desenvolva atitudes de valor na sociedade. Embora pareça satisfatório esse contexto ideal para o ensino-aprendizagem, na realidade de muitas escolas ainda prevalece o tradicionalismo, onde há o repasse de informações oriundas dos antigos livros didáticos e que conta com aula expositiva, exercícios e provas, sem uma contextualização, relacionamento deste conteúdo com a realidade do aluno, resultando em informações retidas somente para a execução de uma prova e que são descartadas e esquecidas logo após o uso sem ter significância.

Conforme Costa (2015), a escola atuante sob aspectos tradicionais, ou seja, descontextualizada da realidade, causa deficiências de aprendizagem.

... A despeito de todo avanço das pesquisas em educação, da ciência e da tecnologia, nossas aulas mais se assemelham a modelos do início do século, tendo como perspectiva metodológica dominante a exposição, a exercitação e a comprovação.

A escola, organizada sob tal enfoque, carece de significados aos alunos, gera abandono, desmotivação e mesmo rebeldia que se manifesta, entre outras coisas, na agressividade dos alunos e em sua indisciplina. (COSTA, 2015)

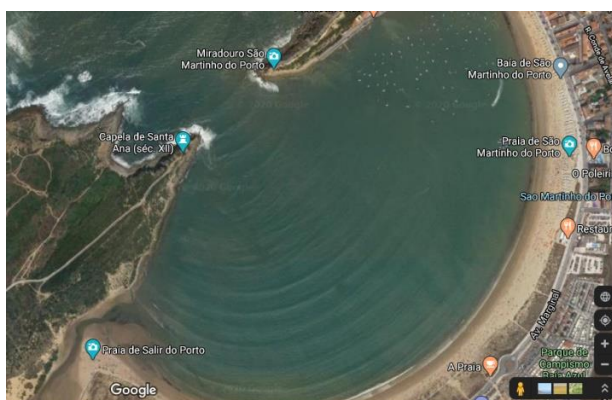
A citação acima nos leva a concluir que a deficiência de aprendizagem se reflete também no trabalho do professor de Física, pois o mesmo é parte integrante da escola e cabe a este reciclar-se para inserir-se no sistema. Sugestiona-se este trabalho com a finalidade de colaborar com mais uma ferramenta no auxílio da Aprendizagem Significativa em Ondulatória, que deve desenvolver-se num processo de negociação de significados, ou seja, o professor deve agir de forma que os alunos valorizem os conceitos físicos para análise, compreensão e tomada de decisões sobre futuros problemas emergentes e, para isso, o professor deve levar em conta os conhecimentos prévios do aluno para dar início à construção dos novos conhecimentos e o possível uso destes no seu cotidiano.

5. ASPECTOS RELEVANTES SOBRE A DIFRAÇÃO DA LUZ

Os fenômenos Interferência e Difração de ondas se configuram na vida cotidiana como efeitos que são percebidos e ignorados pela maioria das pessoas, ou seja, os efeitos são vistos sem o conhecimento de sua fundamentação: o porquê e como ocorre. Por exemplo, todos veem o arco-íris, mas não imaginam como se origina, alguns atribuem sua existência a algo divino, e outros não fazem nem ideia do que seja. Outro fenômeno corrente é quando seu vizinho liga o som em uma alta intensidade de forma que chegue a seus ouvidos, mesmo havendo paredes separando os cômodos, enquanto outros até já brincaram atirado pedras na superfície de um rio, lago ou mar, e observaram a formação de círculos concêntricos que, ao colidirem com um objeto, fez surgir novas formações de círculos concêntricos, mesmo desconhecendo quais os efeitos estão por trás de tais formações.

Os fenômenos ainda se explicitam quando se olha um tecido de trama fina contra uma lâmpada distante. Quando visualizamos a Lua através de uma nuvem (as gotículas de água na nuvem). Olhando o reflexo num CD vemos faixas ou halos coloridos, devido à difração da luz por pequenos obstáculos (os sulcos do CD). Na figura 1 temos a difração de ondas do mar.

Figura 1: Devido à difração das ondas, as ondas do oceano que entram através de uma abertura natural podem se espalhar por toda a baía.



Fonte: Google maps,² baía de são martinho do porto em portugal.

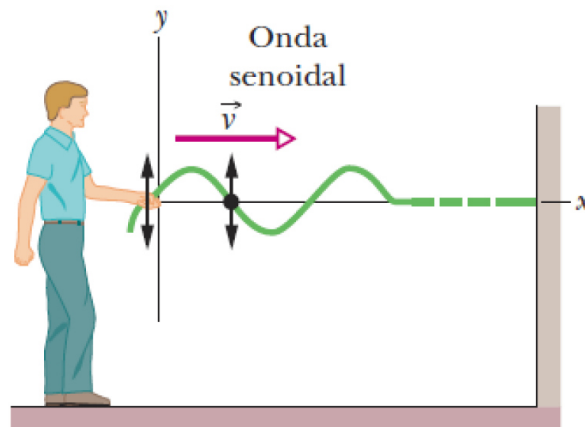
² Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@39.5078511,9.1473956,1119m/data=!3m1!1e3;>> Acesso em 24 jul. 2020.

A onda é uma perturbação que se move em um meio transportando energia e quantidade de movimento sem transportar matéria. Ela sofre vários efeitos, dentre eles, os de interferência e difração, que são fenômenos característicos de “todas as ondas” quando elas contornam obstáculos ou atravessam fendas.

2.3.1. ELEMENTOS DE UMA ONDA

Para uma compreensão real considere, inicialmente, uma corda esticada por suas extremidades, a esse estado chamaremos de posição de equilíbrio da corda. A seguir, realizamos oscilações em uma das extremidades da corda e após um tempo observamos a formação de ondas na corda, como mostrado na Figura 2. A esse padrão de ondas chamaremos de onda senoidal, devido ao seu comportamento se modular muito bem com a função trigonométrica seno.

Figura 2 : Formação de uma onda numa corda.



Fonte: (Haliday 2016, 116)

Matematicamente, as ondas ditas clássicas, que oscilam no tempo (t) e se propagam ao longo de uma direção (no presente caso x) com uma velocidade v , obedecem ao que chamamos de equação diferencial de onda, dada pela equação abaixo;

$$\frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} \quad (2.3.1)$$

Cuja solução particular para essa equação pode ser dada por;

$$y(x, t) = y_m \sin(kx - \omega t) \quad (2.3.2)$$

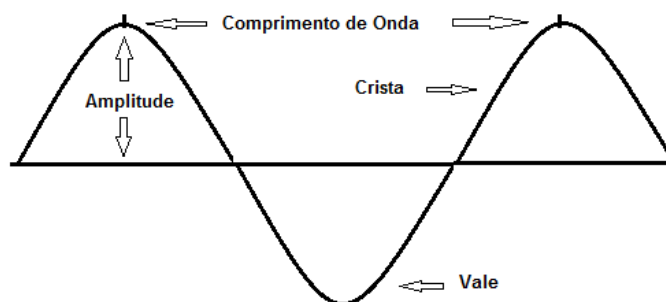
Onde:

A amplitude y_m de uma onda é o módulo do deslocamento máximo sofrido pelos elementos do meio que a onda se propaga a partir da posição de equilíbrio.

A fase de uma onda é o argumento $(kx - \omega t)$ da função seno. Quando a onda passa por uma posição x , a fase varia linearmente com o tempo t .

O comprimento de onda λ é a distância (paralela à direção de propagação) entre repetições da forma da onda, assim como as projeções acima e abaixo do eixo horizontal que são denominados de Crista (acima) e Vale (abaixo) como mostrado na Figura 3.

Figura 3 : Elementos de uma onda.



Fonte: Autoria própria (2019).

O número de onda k , está relacionado com λ , através de;

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.3.3)$$

O período de oscilação (T) é o tempo gasto por um elemento que sai do meio de uma crista e chega ao meio da crista seguinte executando uma oscilação completa e está relacionado à frequência angular ω através da equação;

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2.3.4)$$

A frequência f de uma onda é definida como T^{-1} e está relacionada à ω através da equação;

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (2.3.5)$$

A velocidade v da onda pode ser calculada por;

$$v = \lambda f = \frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{k} \quad (2.3.6)$$

esta equação da velocidade da onda é semelhante a formula da velocidade no movimento uniforme $v = \frac{s}{t}$. onde s representa o espaço (comprimento da onda λ) e t o tempo gasto (período T)

Esse conjunto de valores caracterizam bem a onda em questão, cada onda possui seu comprimento de onda e frequência características. Quando comparadas duas ondas elas podem possuir esses valores iguais, mas podem possuir uma chamada diferença de fase angular (ϕ) entre si, ou seja, a onda se modelaria como segue;

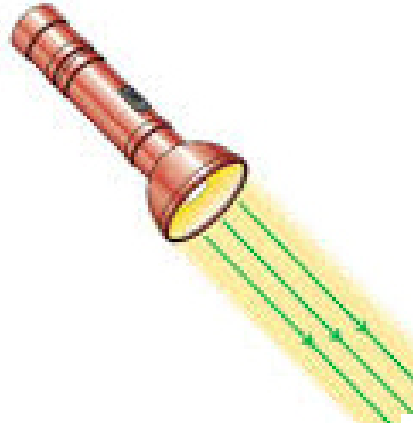
$$y(x, t) = y_m \sin(kx - \omega t + \phi) \quad (2.3.7)$$

Assim como a onda na corda, a luz também é um tipo de onda composta por campos elétrico e magnético e sofre os mesmos efeitos ondulatórios, sendo que o fenômeno da difração foi observado experimentalmente, pela primeira vez, pelo padre jesuíta italiano Francesco Maria Grimaldi (1618-1663) e inclusive nomeou o efeito com o trabalho intitulado *Diffraction*. Atualmente, o estudo das ondas é tratado pelas Ópticas geométrica e ondulatória.

2.3.2. TRATAMENTO DA ÓPTICA GEOMÉTRICA

Trata o raio de luz como um segmento de reta orientado (Ver Figura 4), e possui limitações ao tentar explicar fenômenos como a difração e a interferência, mas a Óptica Geométrica pode explicar muitos fenômenos envolvendo a luz baseando-se somente em previsões e dispensando um tratamento matemático mais rigoroso. Os principais físicos que estudaram os efeitos de reflexão, refração da luz e formação de imagens em espelhos nessa metodologia foram Newton, Fermat, Snell e Descartes.

Figura 4: Raios de luz representados por retas orientadas.



Fonte: Machado (s.d.)

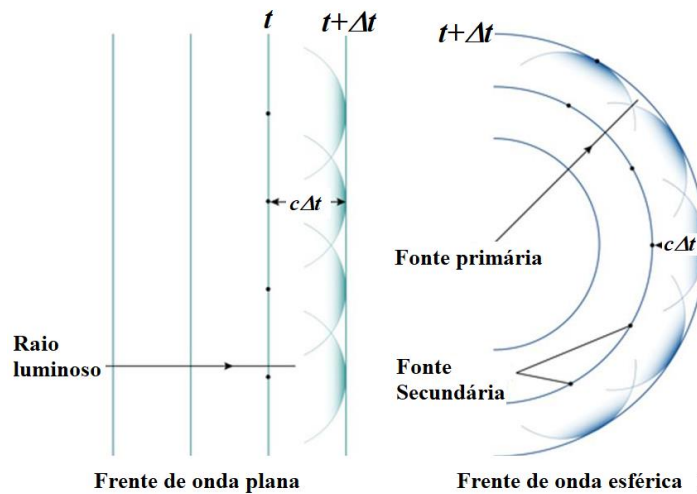
2.3.3. TRATAMENTO DA ÓPTICA ONDULATÓRIA

Em 1678, Huygens formulou um princípio de grande importância para a compreensão da propagação de ondas publicado em 1690 em seu “tratado sobre a luz”. Embora aplicado apenas à propagação de ondas sonoras (onde o comprimento da onda é próximo das dimensões dos objetos) o princípio de Huygens afirma:

Cada ponto em uma **frente de onda** funciona como uma nova fonte, produzindo ondas que se propagam com a mesma frequência, **velocidade** e na mesma direção das ondas originais. (IFPR Oficina do Ensino de Física s.d.)

A Figura 5 ilustra bem o princípio de Huygens considerando frentes de ondas primárias e secundárias planas (da esquerda) e circulares (da direita). As ondas estão se propagando com uma velocidade c . Huygens faz uma transição do princípio geométrico usando retas para círculos, sem fugir da Geometria.

Figura 5 : Cada ponto da frente de onda comporta-se como uma nova fonte de onda.



Fonte: Adaptado de <https://slideplayer.com.br/slide/359069/>³

Ele não considera o comprimento de onda no efeito da difração e prevê o mesmo comportamento para todas as ondas indo de encontro ao mesmo obstáculo.

O princípio da ótica geométrica não consegue explicar como ondas sonoras sofrem difração, isto é, se curvam em torno de obstáculos grandes como árvores ou postes, enquanto as ondas de luz visível, não sofrem difração nos mesmos obstáculos.

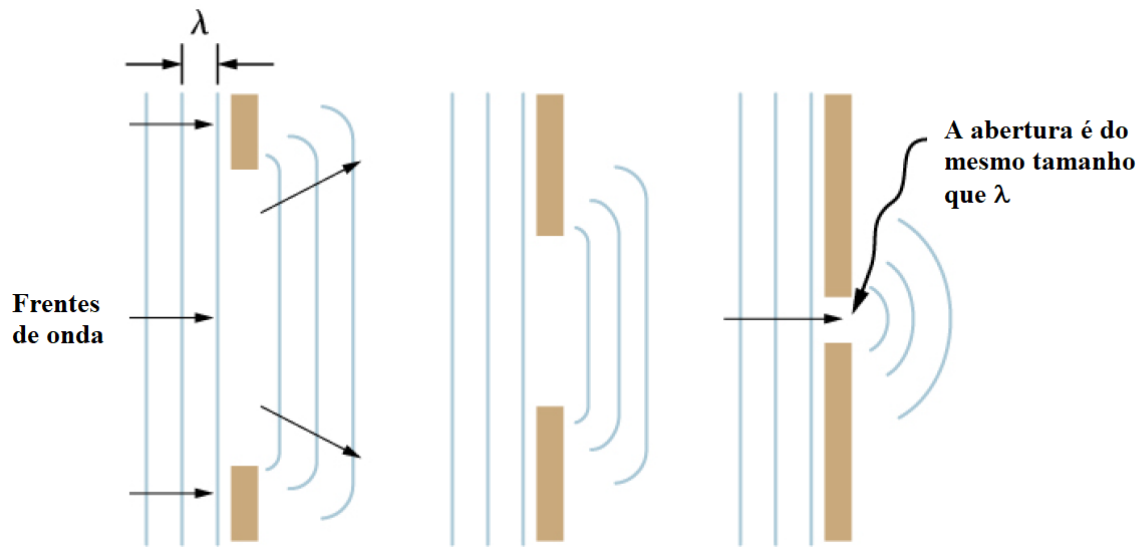
A observação de fenômenos e o uso de experimentos através dos tempos nos informam que a difração ocorre de acordo com o comprimento de onda, ou seja, para a luz atravessando uma fenda, o fenômeno da difração só vai ocorrer quando a fenda for pequena, ou melhor, o tamanho da fenda vai ficando pequeno até tornar-se próximo do comprimento de onda da luz. Note a Figura 6 para um auxílio na compreensão.

O comprimento de onda da luz visível está compreendido entre 700 nm⁴, luz vermelha e 400 nm para luz violeta, o que equivale em milímetros a $7 \cdot 10^{-4}$ mm a $4 \cdot 10^{-4}$ mm. Medidas realizadas comprovam que a espessura de um fio de cabelo humano é da ordem de 7×10^{-5} m sendo ideal para verificar a difração da luz e até possível medir a espessura do fio de cabelo.

³ Disponível em: < <https://slideplayer.com.br/slide/359069/> > Acesso em 20 de jun. de 2020.

⁴ nm sigla para nanômetros que equivalem a 10^{-9} metros.

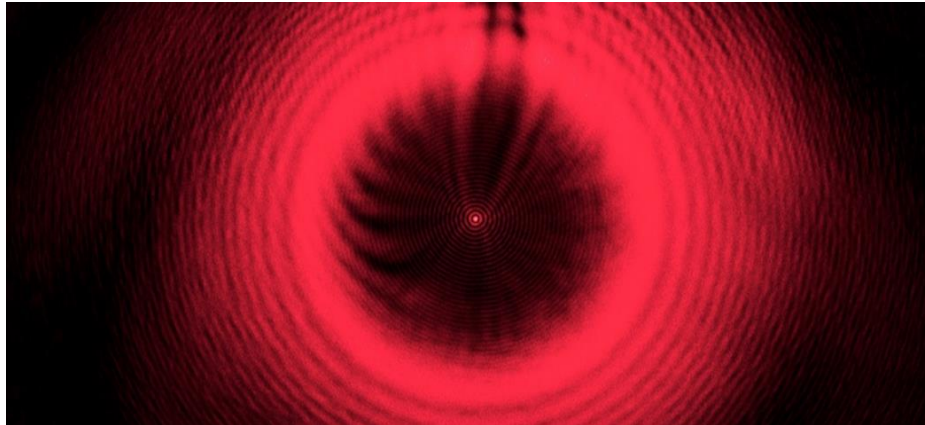
Figura 6: Frentes de onda projetada em uma fenda. À medida que a fenda diminui, fica mais evidente o efeito de difração.



Fonte: Ling, sanny, moebis (2016, p. 32)

A teoria newtoniana dos raios luminosos dominava os debates científicos franceses no início do século XIX, enquanto Augustin-Jean Fresnel, muito jovem e engenheiro militar, acreditava que poderia explicar o fenômeno de difração usando a teoria ondulatória. Ele escreveu um trabalho à Academia Francesa de Ciências, no qual descrevia seus experimentos com a luz e os explicava usando a teoria ondulatória. Fresnel venceu um concurso com o intuito de premiar o melhor trabalho sobre difração. Ele usou uma chapa com furo circular com dimensões da ordem do comprimento de onda da luz usada. Inconformado, Siméon Denis Poisson propôs que a experiência fosse feita com uma esfera ao invés de um simples furo circular. Ele propôs que, se a teoria de Fresnel estivesse correta, as ondas luminosas convergiriam para a sombra da esfera produzindo um ponto luminoso no centro da sombra. A comissão julgadora realizou o experimento e estava lá o *ponto claro de Fresnel*. As franjas de difração desta última experiência são mostradas na Figura 7.

Figura 7 : Uma esfera de aço iluminada por um laser vermelho.



Fonte : Ling, sanny, moebis (2016, p. 145)

O cálculo quantitativo dos efeitos de difração foi possível após a reformulação do princípio de Huygens por Fresnel. Ele acrescentou os efeitos de interferência ao princípio original. As componentes da onda em direções fora da direção de propagação sofrem interferência destrutiva, gerando outra frente de onda que segue o padrão anterior. Acrescenta-se que as ondas que se propagam para trás não são notadas devido a interferência destrutiva nessa direção. Esses novos termos foram adicionados ao princípio de Huygens, que ficou conhecido como o princípio de Huygens-Fresnel:

“... qualquer ponto de uma frente de onda que não seja obstruído, em qualquer instante se comporta como uma fonte de ondas esféricas secundárias, da mesma frequência da onda primária. A amplitude do campo óptico em qualquer ponto após a passagem pelo obstáculo é a superposição das amplitudes das ondas esféricas secundárias, levando em conta suas fases relativas.” (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO 2007)

O motivo pelo qual a luz atinge regiões para além da fenda, regiões inatingíveis para a luz, caso esta não sofresse difração, é que o grande número de ondas secundárias esféricas “emitidas pela abertura” interfere constantemente no anteparo.

A interferência é um fenômeno que se dá quando duas ou mais ondas se superpõem em fase ou defasadas. Faremos uma análise qualitativa das situações mostradas na Figura 8 onde as diferenças de fase são $\phi = 0, \pi$ e $2\pi/3$ rad, com ondas que possuem mesmo número de onda (k) e mesma amplitude (y_m).

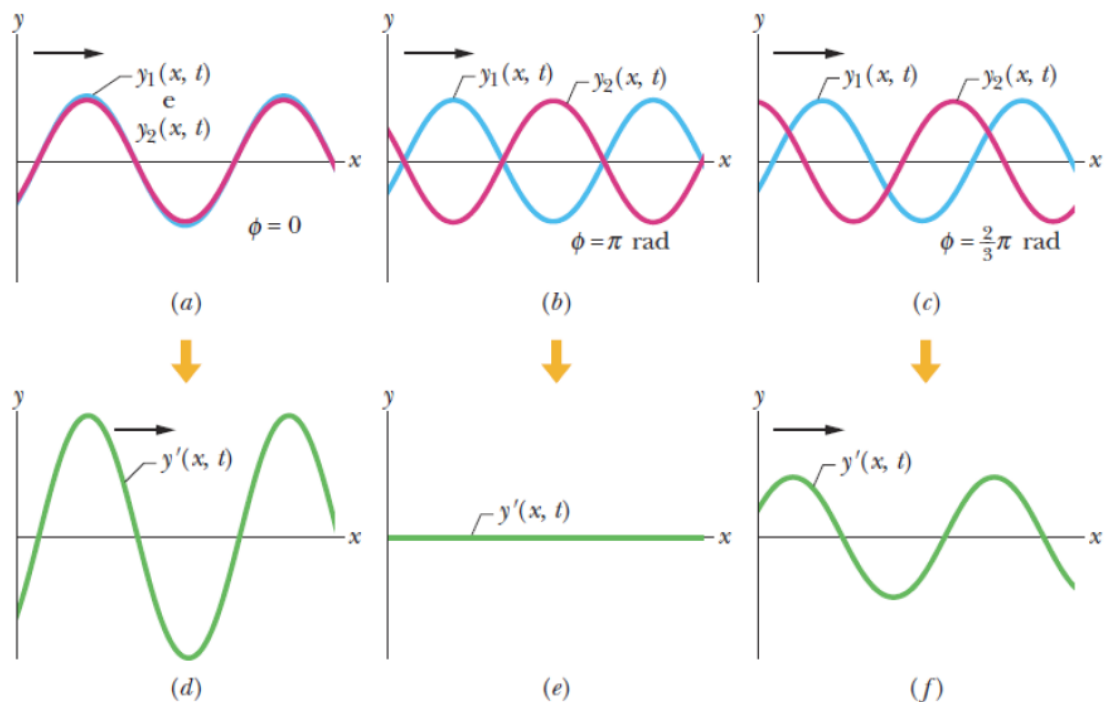
Na Figura 8 em (a) ambas as ondas estão em fase assim a superposição dessas ondas resultam em uma onda com amplitude aumentada de $2y_m$, veja na figura

a seta apontando para o resultado Figura 8(d). Esse tipo de interferência é chamado de interferência construtiva.

Na Figura 8(b) ambas as ondas estão completamente fora de fase assim a superposição dessas ondas resultam em uma onda com amplitude nula, veja a seta apontando para o resultado como ilustrado na Figura 8(e). Esse tipo de interferência é chamado de interferência destrutiva.

Na Figura 8(c) as ondas estão com uma diferença de fase que difere dos dois casos anteriores assim a superposição dessas ondas resultam em uma onda com amplitude intermediária entre 0 e $2y_m$, veja a seta apontando para o resultado ilustrado na Figura 8(f). Esse tipo de interferência é chamado de interferência intermediária.

Figura 8 : Três exemplos de diferença de fase entre duas ondas coerentes.



Fonte: Haliday (2016, p131)

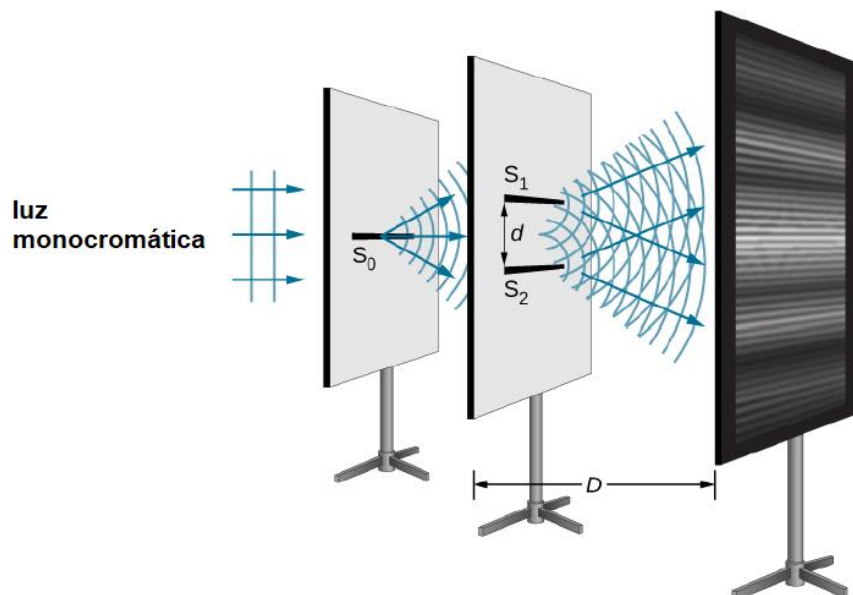
Os fenômenos mostrados acima são perceptíveis se tivermos fontes coerentes que produzam ondas sem variação no decorrer do tempo em relação às outras, e possuindo uma relação de fase constante. Agora, se as fontes forem incoerentes produzindo ondas que variam com o tempo em relação às outras, o padrão de

interferência pode até não ser notado pelo observador e, nesse caso, a relação de fase varia continuamente.

2.3.4. INTERFERÊNCIA DE ONDAS

O experimento de interferência com a luz, feito pela primeira vez por Thomas Young, em 1801, foi determinante para estabelecer-se a natureza ondulatória da luz, pois sabia-se que somente ondas poderiam sofrer interferência. Nesse experimento, uma onda dita plana não pontual e nem monocromática torna-se mais coerente e pontual depois de passar por uma fenda S_0 na primeira placa opaca. Após esse estágio a luz coerente difrata-se através da fenda e é usada para iluminar as fendas estreitas S_1 e S_2 do segundo anteparo. Uma nova difração ocorre quando a luz atravessa essas fendas e duas ondas esféricas se propagam simultaneamente para a direita interferindo uma com a outra, até incidir numa tela de observação (terceiro anteparo) veja Figura 9.

Figura 9 : O experimento de interferência de dupla fenda usando luz monocromática e fendas estreitas. Franjas produzidas pela interferência das ondas de huygens das fendas s_1 e s_2 são observadas na tela.



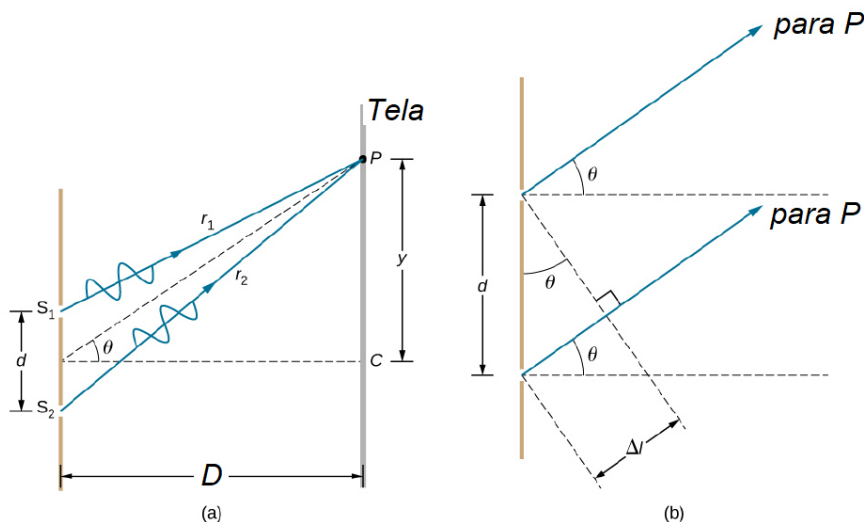
Fonte : Ling, sanny, moebs (2016, p. 119)

As ondas provenientes de cada fenda superpõem-se e interferem, construtiva ou destrutivamente, em um certo ponto, dependendo da diferença de fase entre elas. Devido a esse efeito, observam-se, em um anteparo colocado na frente das fendas, regiões em que a intensidade da luz é máxima, alternadas com outras em que a intensidade é mínima, como mostrado, esquematicamente, na Figura 9.

Para obtermos esse padrão de interferência, com franjas claras e escuras, as ondas provenientes de cada fenda devem ser monocromáticas (de mesma frequência) e coerentes (a diferença de fase entre elas deve permanecer constante no tempo). A luz de um *laser* tem essas características, tornando-se assim adequada para a obtenção de padrões de interferência.

Podemos usar a Figura 10(a) para representar uma onda plana que incide em uma placa com duas fendas. Nessa figura estão indicadas a separação d entre as fendas, a distância D da placa ao anteparo e o comprimento de onda λ da luz. Considere o ponto P, situado no anteparo, em uma posição determinada pelo ângulo θ .

Figura 10: Esquema geométrico de duas ondas, representadas pelos raios r_1 e r_2 , passando através das fendas estreitas e interferindo no ponto p.



Fonte : Ling, sanny, moebis (2016, p. 122)

Para atingir esse ponto, as ondas provenientes de cada fenda percorrem distâncias diferentes. Se a diferença entre essas distâncias (Δl , de acordo com a Figura 10(b)) é igual a um número inteiro de comprimentos de onda, essas ondas chegam em fase em P e a intensidade da luz, nesse ponto, será máxima. Se, por outro

lado, a diferença entre essas distâncias é igual a um número ímpar de meios comprimentos de onda, as ondas chegam fora de fase em P e a intensidade, nesse ponto, será mínima. De acordo com a Figura 10(b), Δl é o cateto oposto do triângulo retângulo definido por d e a projeção perpendicular de r_1 sobre r_2 . Assim,

$$\Delta l = d \sin \theta \quad (2.3.4.1)$$

O que nos leva a definir que para interferências construtivas,

$$d \sin \theta = m\lambda, \quad \text{com } m^5 = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (2.3.4.2)$$

e para interferências destrutivas,

$$d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda, \quad \text{com } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (2.3.4.3)$$

A posição de cada franja de interferência pode ser calculada através de Y (dado na Figura 10(a)) e considerando a condição de baixos valores de ângulo onde podemos aproximar $\sin \theta \approx \tan \theta$, implicando que, para as franjas claras;

$$\frac{m\lambda}{d} = \frac{Y_m}{D}$$

ou

$$Y_m = \frac{m\lambda D}{d}; \text{ com } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (2.3.4.4)$$

Aqui Y é a posição da franja não confundir com y_m amplitude.

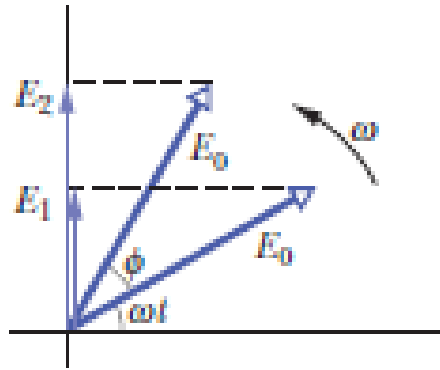
2.3.5. INTENSIDADE DA LUZ NO PONTOS DE MÁXIMOS E MÍNIMOS

Para calcular a intensidade da luz em um ponto do anteparo trata-se a luz como onda eletromagnética com ênfase ao campo elétrico. Lembrando que é importante que a fonte seja coerente, com fase constante. Caso a fonte seja incoerente com a fase variando no tempo, não se observará a interferência.

⁵ m é o número que representa os múltiplos comprimentos de onda que interferem construtivamente e destrutivamente: por exemplo para interferências construtivas, quando $m = 0$ temos o ponto luminoso central, $m = 1$ temos o primeiro ponto luminoso após o central. Já para interferências destrutivas quando $m = 0$ temos o primeiro ponto escuro e para $m=1$ temos o segundo ponto escuro e por aí vai. só lembrando que para valores positivos temos pontos acima do ponto central e valores negativos, abaixo do ponto central.

Na figura 11 temos a onda eletromagnética, luz, representada por fasores⁶ que são formas compactas de simbolizar um sinal.

Figura 11: Fasores representando ondas.



Fonte: HALIDAY,(2016)

A onda que sai da parte superior da fenda e atinge o ponto P, tem seu campo elétrico representado por:

$$\vec{E}_1 = \vec{E}_0 \sin \omega t \quad (2.3.5.1)$$

e a onda que sai da parte inferior da fenda, atingindo também o ponto P, tem seu campo elétrico dado por

$$\vec{E}_2 = \vec{E}_0 \sin (\omega t + \phi) \quad (2.3.5.2)$$

onde ϕ representa a diferença de fase dos dois campos.

Quando as ondas atingem o anteparo há superposição dos campos e o campo resultante é dado pela soma de 2.3.5.1 e 2.3.5.2.

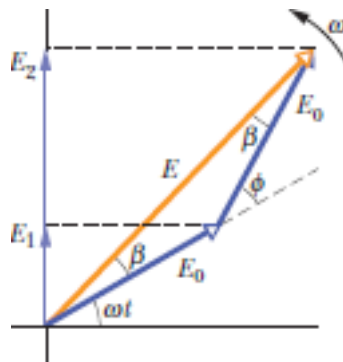
⁶ Fasores, são na realidade vetores que giram em uma determinada velocidade em um círculo trigonométrico, dando origem as funções senoidais. Então toda função senoidal pode ser representada por um fasor. Os fasores possuem muitas aplicações em sistemas de potências.

A notação fasorial simplifica a resolução de problemas envolvendo funções senoidais no tempo.

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = \vec{E}_0 \sin \omega t + \vec{E}_0 \sin(\omega t + \phi). \quad (2.3.5.3)$$

No modo geométrico esta soma é mais trabalhosa, pois usa as propriedades da soma e subtração de senos e cossenos. Usando fasores temos um resultado com menos trabalho. Os fasores E_1 e E_2 podem ser decompostos na direção de E . Veja figura 12.

Figura 12 : Fasores E_1 e E_2 resultando em E .



Fonte: HALIDAY, (2016)

A projeção dos fasores E_1 e E_2 sobre o fasor E resulta em:

$$E = 2E_0 \cos \beta. \quad (2.3.5.4)$$

E = campo elétrico, E_0 = campo inicial e β é o ângulo entre o campo E e os campos E_1 e E_2 .

Mas o ângulo externo ϕ de um triângulo é igual à soma dos dois ângulos internos não adjacentes a ele: $\phi = \beta + \beta \Rightarrow \phi = 2\beta$, então $\beta = \frac{\phi}{2}$ substituindo em (2.3.5.4) temos:

$$E = 2E_0 \cos \frac{\phi}{2} \quad (2.3.5.5)$$

Por outro lado, segundo Haliday "a intensidade de uma onda eletromagnética é proporcional ao quadrado da amplitude..." (Haliday, Fundamentos de Física 4, 2016, 202). Então elevando 2.3.5.5 ao quadrado tenho $E^2 = \left(2E_0 \cos \frac{\phi}{2}\right)^2$ que resulta em:

$$E^2 = 4E_0^2 \cos^2 \frac{\phi}{2} \quad (2.3.5.6)$$

Ainda de acordo com Haliday: "... E_0 , têm uma intensidade I_0 que é proporcional a E_0^2 , e a onda resultante, de amplitude E , tem uma intensidade I que é proporcional a E^2 ." (Haliday, Fundamentos de Física 4, 2016, p.202).

Do exposto temos: $\frac{I}{I_0} = \frac{E^2}{E_0^2}$ Isolando o campo E , $E^2 = E_0^2 \frac{I}{I_0}$ substituindo em

$$2.3.5.6 \text{ temos: } E_0^2 \frac{I}{I_0} = 4E_0^2 \cos^2 \frac{\phi}{2}$$

Simplificando e escrevendo para I :

$$I = I_0 4 \cos^2 \frac{\phi}{2} \quad (2.3.5.7)$$

Segundo Haliday a relação entre diferença de fase com diferença de percurso (Haliday, Fundamentos de Física 4, 2016, p.203) [...] é.

Se a diferença de percurso Δl for $\frac{\lambda}{2}$ a diferença de fase será $\phi = \pi$;

Se a diferença de percurso Δl for λ então a diferença de fase é $\phi = 2\pi$;

Se a diferença de percurso Δl for $\frac{3\lambda}{2}$ a diferença de fase será $\phi = 3\pi$

De acordo com as afirmativas escrevemos $\frac{\phi}{2\pi} = \frac{\Delta l}{\lambda}$ isolando o termo diferença de fase, temos $\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta l$, mas lembrando que a diferença de percurso $\Delta l = d \sin \theta$, então:

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta$$

Agora substituindo o valor de ϕ em 2.3.5.7 e simplificando temos:

$$I = I_0 4 \cos^2 \left(\frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta \right) \quad (2.3.5.8)$$

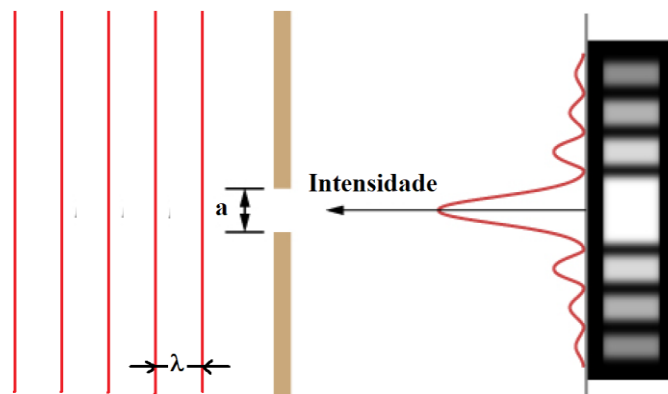
Onde: I =intensidade da onda; I_0 =intensidade inicial da onda; d = tamanho da fenda e θ = ângulo ente os raios r_1 e r_2 que saem da fenda.

2.3.5. DIFRAÇÃO EM FENDA ÚNICA

Quando a luz, que é composta por ondas provenientes de uma única fonte ou de fontes coerentes, com comprimento de onda λ , atravessa uma fenda de tamanho

a , aproximadamente igual ao seu comprimento de onda, forma-se uma figura de difração de uma fenda, que consiste em um máximo central (franja clara) e uma série de franjas claras laterais separadas por franjas escuras (Veja Figura 14). Considerando o eixo central que passa pelo centro da franja clara máxima, os máximos estão situados aproximadamente a meio caminho entre os mínimos. (difração e interferência)

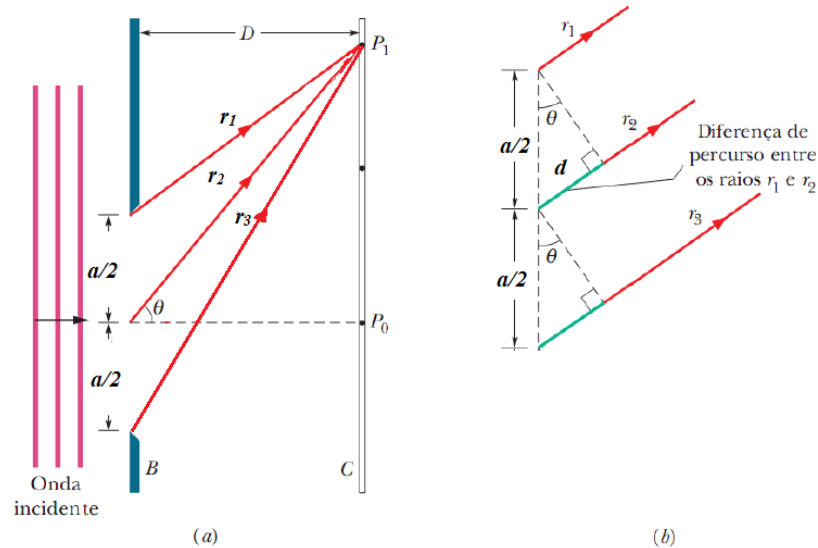
Figura 13 : Padrão de difração e interferência de fenda única. A luz monocromática que passa através de uma única fenda tem um máximo central, o mais brilhante, e máximos secundários (de intensidades menores) e escuros de cada lado.



Fonte: Adaptado de ling, sanny, moebis (2016, p. 145)

Esse efeito pode ser analisado de acordo com o modelo de Huygens — cada porção da fenda atua como uma fonte de luz, pois participa da mesma frente de onda e estão em fase inicialmente, como mostrado na Figura 14(a). As ondas provenientes de cada ponto da fenda podem chegar ao anteparo em fase ou fora de fase, produzindo regiões respectivamente claras ou escuras. Considere o ponto P, situado no anteparo, em uma posição indicada pelo ângulo θ em relação a P_0 . O fato de termos usados aqui setas, não anula as ideias de Huygens, uma vez que elas indicam a direção de propagação das ondas, de onde podemos calcular o caminho percorrido por cada onda.

Figura 14 : (a) Os raios provenientes da extremidade superior de duas regiões de largura $a/2$ sofrem interferência destrutiva no ponto p_1 . (b) para $d \gg a$, podemos supor que os raios r_1 e r_3 são aproximadamente paralelos e fazem um ângulo θ com o eixo central.



Fonte: Adaptada de Haliday (2009 p.113-114)

Inicialmente dividiremos a fenda mentalmente em 2 regiões de largura $a/2$. Os raios r_1 , r_2 e r_3 ligam cada ponto da fenda ao ponto P_1 . Quando o anteparo está muito próximo das fendas, o padrão de difração se torna muito difícil de descrever matematicamente. Para contornar isso, vamos supor que o anteparo esteja muito distante da fenda de forma que $D \gg a$ (como mostrado na Figura 14(b)), o que é de fato o que ocorre experimentalmente. Esse artifício faz com que apareçam vários triângulos retângulos, como o mostrado na Figura 14(b), cujo manejo matemático é conhecido. Nota-se que a diferença de percurso (d) entre cada par de raio é o cateto oposto a θ , em todos os referidos triângulos retângulos. Onde analisaremos as condições de mínimo de difração. Para isso tomaremos os pares de raios vizinhos e sugerimos que a condição de mínimo deve ser satisfeita sempre que a diferença de percursos entre os pares de raios seja meio comprimento de onda, $\lambda/2$.

Desta forma, se a diferença de percurso, d , entre os raios r_1 e r_2 , for $d = \lambda/2$, onde a hipotenusa do referido triângulo é $a/2$, estaremos numa condição de mínimo de difração, logo;

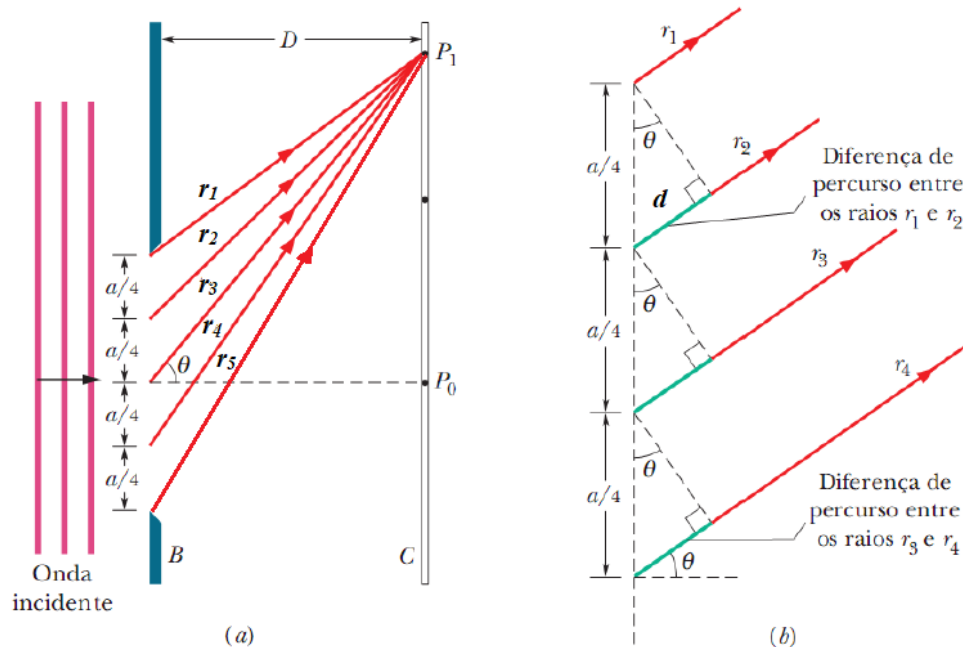
$$\sin \theta = \frac{d}{a/2} = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{2}{a} = \frac{\lambda}{a} \quad (2.3.5.1)$$

Assim, se fizermos o mesmo procedimento para os raios r_2 e r_3 encontraremos o mesmo resultado matemático, logo, essa é a primeira condição de mínimo de difração, onde

$$a \sin \theta = \lambda \quad (2.3.5.2)$$

Agora dividiremos a fenda mentalmente em 4 regiões de largura $a/4$, como mostra a Figura 15(a). Os raios r_1, r_2, r_3, r_4 e r_5 ligam cada ponto da fenda ao ponto P_1 .

Figura 15 : (a) os raios provenientes da extremidade superior de quatro regiões de largura $a/4$ sofrem interferência destrutiva no ponto p_1 . (b) para $d \gg a$, podemos supor que os raios r_1, r_2, r_3, r_4 e r_5 são aproximadamente paralelos e fazem um ângulo θ com o eixo central.



Fonte: Haliday (2009, p.114)

Analisaremos a condição de mínimo de difração para esse caso. Desta forma, se a diferença de percurso, d , entre os raios r_1 e r_2 , for $d = \lambda/2$, onde a hipotenusa do referido triângulo é $a/4$, estaremos numa condição de mínimo de difração, logo;

$$\sin \theta = \frac{d}{\frac{a}{4}} = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{4}{a} = \frac{2\lambda}{a} \quad (2.3.5.3)$$

Assim, se fizermos o mesmo procedimento para todos os outros pares de raios vizinhos, encontraremos o mesmo resultado matemático, fazendo com que seja a segunda condição de mínimo de difração, onde

$$a \sin \theta = 2\lambda \quad (2.3.5.4)$$

Analogamente se dividirmos a fenda em 6 partes encontraremos a condição,

$$a \sin \theta = 3\lambda \quad (2.3.5.5)$$

que é a terceira condição de mínimo.

Se continuarmos a dividir a fenda em um número cada vez maior de regiões, chegaríamos à conclusão de que as posições das franjas escuras acima e abaixo do eixo central são dadas pela seguinte condição geral:

$$a \sin \theta = m\lambda, \text{ para } m = 1, 2, 3, \dots \quad (2.3.5.6)$$

A intensidade das franjas de difração é dada por;

$$I = I_0 \left(\frac{\sin \alpha}{\beta} \right)^2 \quad (2.3.5.7)$$

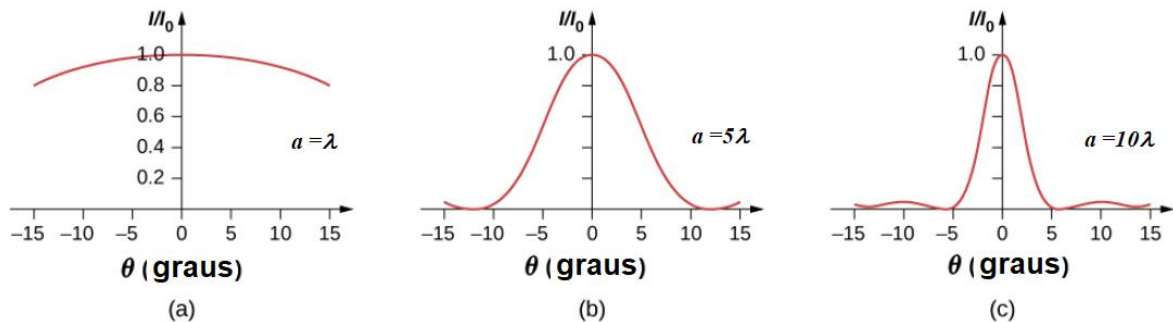
onde ϕ é a diferença de fase entre as ondas que atingem o ponto P, e

$$\alpha = \frac{\phi}{2} = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta. \quad (2.3.5.8)$$

2.3.6. DUPLA FENDA

Quando estudamos a interferência no experimento de dupla fenda de Young, naquele cenário as fendas eram tão estreitas que, na tela, você via apenas a interferência da luz de duas fontes pontuais, uma difração eficiente e sem a contribuição da interferência destrutiva. Se a fenda é igual ao comprimento de onda, a Figura 16a mostra que há apenas um espalhamento de luz na tela.

Figura 16 : Padrões de difração de fenda única para várias larguras de fenda. À medida que a largura da fenda d aumenta de $d = \lambda$ para 5λ e depois para 10λ , a largura do pico central diminui à medida que os ângulos dos primeiros mínimos diminuem conforme previsto.



Fonte: Adaptado de Ling, sanny, moebis (2016, p. 155)

No entanto, se você fizer a fenda mais larga, a Figura 16b mostra que já começa a surgir padrão de interferências destrutiva e construtiva. Na figura 16c percebe-se um pico mais estreito devido a uma abertura maior da fenda e maior quantidade de interferências destrutivas e construtivas.

Nesta seção, estudamos as complicações do experimento de Dupla fenda que surgem quando você também precisa levar em consideração o efeito de difração de cada fenda.

Para calcular o padrão de difração para duas (ou qualquer número de) fendas, precisamos generalizar o método que acabamos de usar para uma única fenda. Ou seja, em cada fenda, colocamos uma distribuição uniforme de fontes pontuais que irradiam ondas de Huygens e então somamos as ondas de todas as fendas. Isso fornece a intensidade em qualquer ponto da tela. Embora os detalhes do cálculo possam ser complicados, o resultado final é bastante simples:

O padrão de difração de duas fendas de largura D que são separadas por uma distância d é o padrão de interferência de duas fendas separadas por d multiplicado pelo padrão de difração de uma fenda de largura a .

Matematicamente a intensidade do padrão de difração de dupla fenda é dada por:

$$I(\theta) = I_m (\cos^2 \beta)^2 \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2, \quad (2.3.6.1)$$

onde

$$\beta = \frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta, \quad (2.3.6.2)$$

que é um fator de interferência que depende de **d**, distância entre as fendas, e

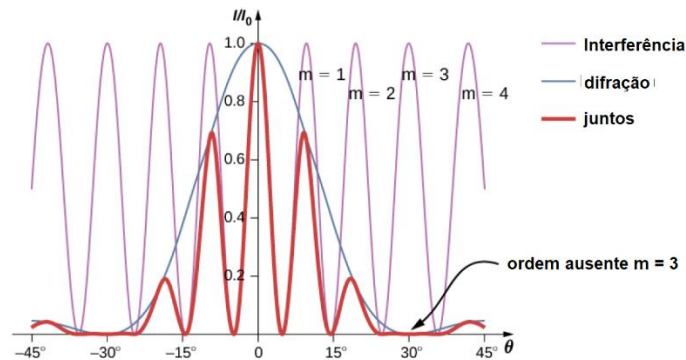
$$\alpha = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta \quad (2.3.6.3)$$

é um fator de difração que depende de **a** que é a largura das fendas.

Em outras palavras, os locais das franjas de interferência são dados pela equação $d \sin \theta = m\lambda$, a mesma de quando consideraram as fendas como fontes pontuais, mas as intensidades das franjas agora são reduzidas por efeitos de difração, segundo o fator $\left(\frac{\sin \alpha}{\alpha}\right)^2$ da equação 2.3.6.1. Observe que em interferência de ondas, escrevemos $d \sin \theta = m\lambda$ e usamos o número inteiro **m** para nos referir a franjas de interferência. A equação 2.3.5.6 também usa **m**, mas desta vez para se referir aos mínimos de difração. Se ambas as equações forem usadas simultaneamente, é uma boa prática usar uma variável diferente (como n) para um desses números inteiros e mantê-los distintos.

Os efeitos de interferência e difração operam simultaneamente e geralmente produzem mínimos em ângulos diferentes. Isso dá origem a um padrão complicado na tela, no qual faltam alguns dos máximos de interferência das duas fendas se o máximo da interferência está na mesma direção que o mínimo da difração. Nos referimos a um pico ausente como uma ordem ausente. Um exemplo de um padrão de difração no anteparo é mostrado na Figura 17. A linha sólida com múltiplos picos de várias alturas é a intensidade observada na tela. É o produto do padrão de interferência de ondas de fendas separadas e a difração das ondas de uma fenda.

Figura 17 : Difração de uma fenda dupla. O gráfico mostra o resultado esperado para uma fenda de largura $d = 2\lambda$ e separação da fenda $d = 6\lambda$. O máximo de $m = \pm 3$ ordem para a interferência é ausente porque o mínimo da difração ocorre na mesma direção.

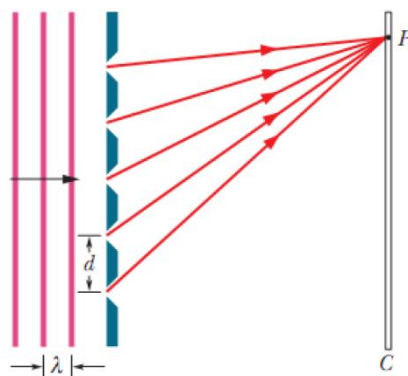


Fonte: Adaptado de Ling, sanny, moebis (2016, p. 156)

2.3.7. REDES DE DIFRAÇÃO

Uma rede de difração tem um comportamento semelhante a uma fenda dupla exceto pela quantidade de fendas existentes na rede. De acordo com Haliday “um dos dispositivos mais usados para estudar a luz e os objetos que emitem e absorvem luz é a rede de difração” (Haliday, 2009, p.126). A luz ao atravessar uma rede de difração sofre um espalhamento e produz vários pontos de luz e escuridão. (Quando a luz difratada produz pontos de luz estreitos, denominam-se linhas). Na Figura 18 podemos ver uma rede de difração simplificada.

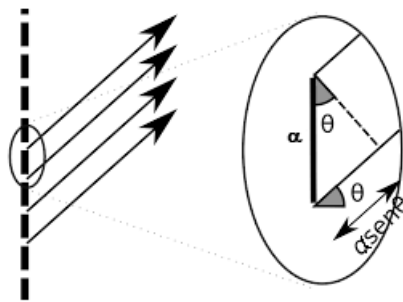
Figura 18 : Rede de difração simplificada.



Fonte: Haliday, fundamentos de fisica iv (2009,p.126)

Para determinar as posições das linhas no anteparo usamos as mesmas considerações feitas para a dupla fenda. Considerando duas fendas vizinhas, veja a ampliação na Figura 19, nota-se que $a \sin \theta = m\lambda$, o mesmo para uma fenda simples ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$).

Figura 19: Múltiplas fendas simplificadas.



Fonte: Adaptada de (Danilo 2016)⁷

Se uma rede contém M fendas com espaçamentos iguais a a ocupando largura total A , então $a = \frac{A}{M}$ e a distância A entre a primeira (primeiro raio) e última fenda (último raio) será Ma , que corresponde a abertura total. Então podemos escrever $Ma \sin \theta = m\lambda$ para os raios extremos da rede.

Se determinarmos a distância entre duas fendas, e o tamanho da rede, poderemos determinar a razão M/A (fendas por metro) uma vez que a rede seja homogeneamente espaçada.

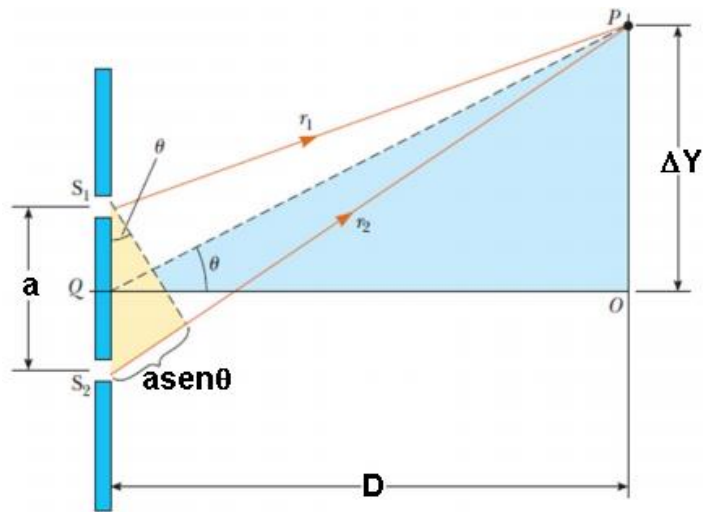
Um CD tem comportamento de uma rede de difração e pode-se determinar a distância entre os sulcos a , veja figura 20, calculando a separação entre duas fendas com o uso de:

$$a \sin \theta = m\lambda \quad (2.3.7.1)$$

$$\text{Então } a = \frac{m\lambda}{\sin \theta}$$

⁷ Disponível em: <http://estudeadistancia.professordanilo.com/?tag=rede-de-difracao>. Acesso em 7 de julho de 2019

Figura 20: Difração entre duas fendas



Fonte: Adaptada de edisciplinas.usp.br⁸

o $\sin \theta$ pode ser calculado por

$$\sin \theta = \frac{\Delta Y}{\sqrt{\Delta Y^2 + D^2}} \quad (2.3.7.2)$$

logo

$$a = \frac{m\lambda \sqrt{\Delta Y^2 + D^2}}{\Delta Y}, \quad (2.3.7.3)$$

Onde:

a = distância entre os sulcos do CD.

λ = comprimento de onda da luz (a ser pesquisado).

D = distância entre o anteparo e o ponto de incidência da luz no cd.

ΔY = distância entre os pontos de luz no anteparo (franjas).

m = número relativo à fenda (no caso 1 é relativo à primeira fenda).

⁸ Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4346103/mod_resource/content/2/SSMHT%20difracao-e-interferencia%20GE-2017_c.pdf Acesso em 15 de agosto 2020.

3 PRODUTO EDUCACIONAL

Para embasar este trabalho, escolheu-se como referencial teórico a teoria de David Ausubel associada à sequência didática de Marco Antônio Moreira. A pesquisa delinea-se como mista (quantitativa e qualitativa). Fazendo uso de dados matemáticos, questionários, observação e análise documental aliada a recursos tecnológicos, tal como celular para gravação de fotos, obedecendo a princípios estabelecidos quanto à ética, de modo a preservar a privacidade dos envolvidos na pesquisa.

Convém lembrar ainda, que todos os envolvidos serão submetidos à apreciação e ao aceite do trabalho, indicando-lhe a finalidade, a importância e os passos da pesquisa.

7. SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Com o intuito de propor melhorias na aprendizagem do conteúdo da difração da luz, desenvolve-se aqui uma Sequência Didática baseada na proposta de Marco Antônio Moreira (MOREIRA s.d.) e fundamentada na teoria de David Ausubel, segmentada em passos, a ser aplicada em uma sala de aula resumida em cinco encontros, com duração de uma hora-aula cada encontro.

1º Encontro – Depois de Informar aos alunos aspectos da sequência, se aplica um teste que pode ser visto no apêndice I.

2º Encontro – Elabora um mapa conceitual sobre Ondulatória a fim de sondar seus conhecimentos prévios e prepara os Organizadores Prévios sobre: Oscilação, Onda, Frequência, Período e interferência.

3º Encontro – Inicia a aula com problematização propondo situações problemas com difração: Por que consegue ouvir uma pessoa do outro lado do muro, mas não a vê? Presenciou algum fenômeno de interferência de ondas na água? Desenvolve-se uma aula sobre difração e, em seguida, divide-se a turma em 4 grupos de acordo com o número de temas (4) que devem produzir os seguintes trabalhos:

1 – Experimentos sobre difração em um fio de cabelo.

2 – Rede de difração.

3 – Produção de cartaz relatando o histórico de alguns dos personagens responsáveis pelo estudo do efeito da difração, tais como Huygens, Grimaldi, Fresnel e Fraunhofer.

4 – Produção de vídeo

4º Encontro – os alunos apresentam suas produções e em seguida aprofunda-se o tema com aplicação de questionário individual.

5º Encontro - Aplica-se um questionário de pesquisa de satisfação.

8. EXPERIMENTOS TRABALHADOS EM SALA DE AULA

No ensino da física o experimento é uma ferramenta importante, já que proporciona uma visualização dos conceitos abordados na aula. O aluno em contato com a prática tem uma construção do conhecimento mais significativa, pois ele tem chance de confrontar sua construção mental com a realidade.

Dentre as metodologias e ferramentas utilizadas pelos professores para a educação efetiva da Física podem ser citadas a prática de experimentações como um dispositivo que retém o interesse e gera o estímulo para a aprendizagem mediante a observação, análise, exploração, planejamento e o levantamento de hipóteses que possibilitam aos alunos desenvolver suas habilidades, tornando-a mais significativa pelo estabelecimento de vínculos entre conceitos físicos e fenômenos naturais vivenciados. (GRASSELLI E GARDELLI, 2014, p. 2)

O uso de experimentos feitos em laboratórios ou não (feitos na sala de aula) funcionam como reforço no ensino aprendizagem em Física.

3.2.1. CONFECÇÃO DO EXPERIMENTO DA DIFRAÇÃO SOBRE UM FIO DE CABELO

Aqui o aluno vai usar os conhecimentos adquiridos em difração de fenda simples para calcular a espessura do fio de cabelo.

Material necessário:

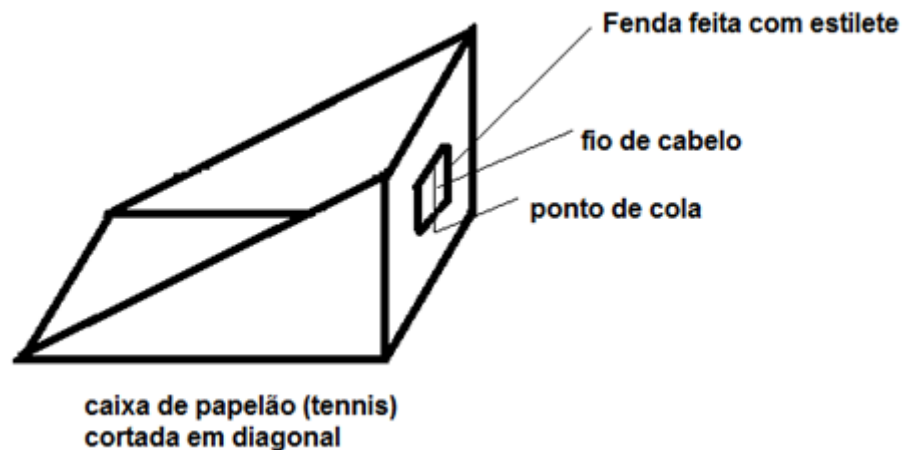
1 - Caixa de papelão

- 2 - Laser
- 3 - Fio de cabelo
- 4 - Cola
- 5 - Estilete
- 6 - Mesa.

Atualmente a obtenção de um laser é algo muito simples. Alguns modelos custam até R\$ 5,00. Ao manusear o instrumento, temos que ter cuidado para não apontar para as pessoas, pois pode ser perigoso. Uma incidência de Laser nos olhos pode causar danos à retina e cegueira irreversível.

1 – Com o uso de um estilete, corte a caixa em diagonal e faça uma janela aproximadamente 5 x 5 cm, conforme a figura 21. Fazendo uso de cola rápida, faça a fixação de um fio de cabelo sobre a janela e temos uma base para a incidência da luz laser.

Figura 21 : Caixa de papelão preparada para o experimento de difração.



Fonte: Própria, 2019

2 – É necessário um aparato (uma parede lisa e branca) para receber a luz do Laser depois que o feixe passa pelo fio de cabelo e observar a projeção na parede. Observe que o fio de cabelo deve posicionar-se a mais ou menos 1,5 a 3 metros de distância da parede. Como o fio assemelha-se a uma fenda simples pode usar fórmula para difração de fenda simples e estimar a espessura do fio de cabelo.

$$\alpha \sin \theta = m\lambda \quad (3.2.1.1)$$

Ou relacionando com a espessura do fio substituindo α por e

$$e \sin \theta = m\lambda \quad (3.2.1.2)$$

$$e = \frac{m\lambda}{\sin \theta} \quad (3.2.1.3)$$

Lembrando que $\sin \theta = \text{tg} \theta = \frac{Y_m}{D}$ então

$$e = \frac{m\lambda D}{Y_m} \quad (3.2.1.4)$$

Onde:

e = espessura do fio de cabelo

m = número do mínimo de difração, (escolhe o primeiro $m = 1$)

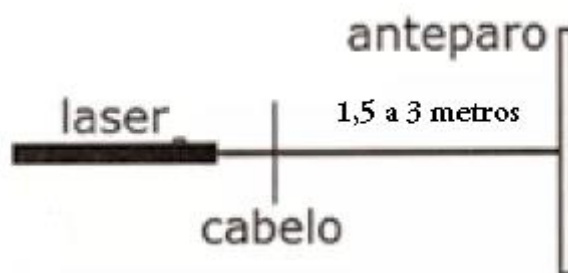
λ = comprimento de onda da luz do laser.

D = distancia do fio de cabelo ao anteparo (parede)

Y_m = distância entre o centro e o primeiro mínimo.

A figura 21, dá uma ideia de como montar seu experimento.

Figura 22: Esquema de montagem do experimento.



Fonte: Quartieri (2020)⁹

⁹ Disponível em: <https://renataquartieri.com/vestibular-2/exercicios/fenomenos-ondulatorios/>. Acesso em 25 de maio de 2019

3.2.2. EXPERIMENTO SOBRE REDES DE DIFRAÇÃO

Material necessário:

- 1 - Laser
- 2 - CD
- 3 - Caixa de papel
- 4 - Suporte
- 5 – Régua

Segundo Scarinci o *Compact Disc* (CD) tem dimensões de 12 cm de diâmetro, 1,2 mm de espessura e um orifício no centro com 15 mm de diâmetro.

Embora a superfície pareça lisa e brilhante, existem furos microscópicos de aproximadamente $0,1\text{ }\mu\text{m}$ de profundidade e $3,3\text{ }\mu\text{m}$ de comprimento formando sulcos (pits) afastados por $1,6\text{ }\mu\text{m}$ em espiral.

O comprimento de onda da luz visível está na faixa de 400nm a 700nm (Haliday, Fundamentos de Física 2 2009, 31), ou melhor, $0,4\text{ }\mu\text{m}$ a $0,7\text{ }\mu\text{m}$. Então percebe-se que os sulcos (fendas) estão próximos do comprimento de onda da luz e o CD contendo esses microscópicos furos pode ser considerado uma rede de difração pois tem o mesmo princípio de construção.

Figura 23 : Aspectos de um cd.



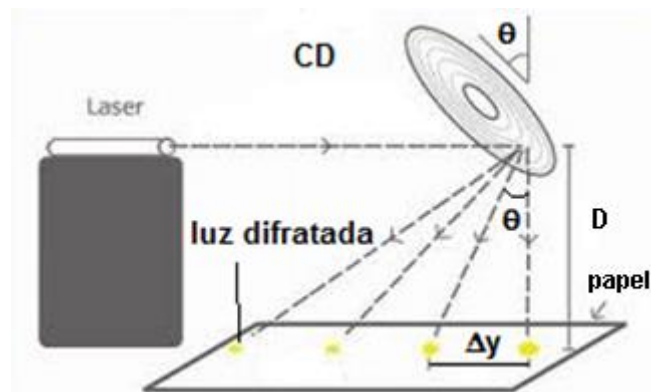
Fonte: Própria, 2019

O aluno não encontrará dificuldade em obter um CD descartado e um laser.

Ao apontar o laser para o cd e acionar vai obter por reflexão (rede de reflexão) pontos de luz espaçados se estiver com a camada brilhante.

O esquema de montagem do experimento para visualizar o efeito da rede de difração pode ser visto na figura 24.

Figura 24 : Esquema de montagem do experimento.



Fonte: Adaptada (FILHO 2011)¹⁰

Os alunos também poderão calcular o espaçamento entre os sulcos existentes no cd usando a equação (2.3.7.3) da página 56, isso para aqueles que possuírem afinidades com matemática.

3.2.3. PRODUÇÃO DE VÍDEO

Material necessário:

- 1- Celular
- 2 - Caixa de papelão
- 3 - Laser
- 4 - Fio de cabelo
- 5 - Cola
- 6 - Estilete

¹⁰ Disponível em: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=31390> Acesso em 14 de dezembro de 2019

7 - Mesa.

Atualmente, o processo de expansão midiática permite qualquer pessoa produzir um vídeo, mesmo aqueles que possuem pouca intimidade com um celular. Para um bom aproveitamento, basta direcionar o uso do dispositivo, uma vez que o mesmo se torna um recurso auxiliar bem barato.

A nova geração de crianças já chega à escola com mais conhecimentos e sede de aprender algo que seja atraente, significativo, pois está conectada a videogames, internet, celulares, e é telespectadora desde sua vivência familiar anterior à escola. A instituição escolar, por sua vez, tem o desafio de educar esta nova geração, como por exemplo, usando o vídeo em suas aulas como gerador de polêmicas, motivador e informador. (PANZINNI E ARAÚJO, 2013)

Os alunos podem muito bem expressar o que aprenderam sobre certo assunto produzindo um vídeo ressaltando seu conhecimento adquirido e, nesse contexto, o grupo de alunos responsável pelo vídeo deve reproduzir o experimento da Difração, filmar e reproduzir vídeo + áudio explicando o funcionamento do fenômeno.

3.2.4. PRODUÇÃO DE CARTAZES

Material necessário:

1 - Cartolinas

2 - Revista ou livros

3 - Internet

4 - Lápis

5 - Lapiseira

6 - Tesoura

7 - Cola.

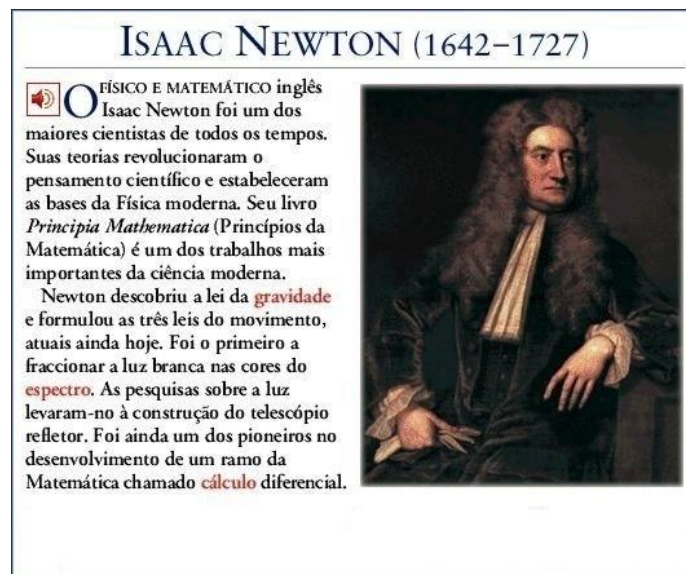
Uma forma muito útil de expressão do conhecimento é a produção de cartazes, que são um meio de apresentação e fixação de conteúdo. Embora pareça infantil, como atividade do ensino fundamental, é um espaço onde os alunos podem usar sua

arte em desenhos e produção textual para propagar seu entendimento das informações.

Neste trabalho, orienta-se a produção de cartazes para que estes contenham a história e desenhos ou imagens dos grandes nomes da Física.

O grupo responsável pelo(s) cartaz(es) deve pesquisar em livros ou internet a biografia de Huygens, Fresnel, Fraunhofer e Grimaldi produzindo seu próprio texto fazendo referência também ao trabalho do cientista, inserindo (colando) desenho ou figura recortada de revista descartada ou jornal no cartaz e apresentando sua produção. Um modelo de cartaz é apresentado na figura 25.

Figura 25: Exemplo de cartaz.



Fonte: (História da Física s.d.)¹¹

¹¹ Disponível em: <http://www.edukapa.com.br/FisicaNet/HistoriadaFisica/Newton.htm> Acesso em 22 de dezembro de 2019.

4 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL E COLETA DE DADOS

No dia 29 de abril de 2019, T 304 e dia 30 de abril, turma 305, após uma apresentação de trabalhos de recuperação, abriu-se um pequeno intervalo e apresentou-se a proposta aos alunos de terceiro ano do Ensino Médio, turmas 304 com 38 alunos e turma 305 contando com 40 alunos. Na oportunidade, explicou-se que estavam sendo convidados a participar de aulas sobre ondulatória com ênfase na aquisição de conhecimentos em Difração e esclareceu-se que toda participação deveria ser de vontade própria e contando com avaliações. É preciso lembrar, que antes de qualquer ato se conversou com a diretora, no sentido de informar sobre os procedimentos e obter permissão para aplicação da pesquisa, o qual foi prontamente atendido.

9. QUESTIONARIO SOBRE CONHECIMENTOS PRÉVIOS.

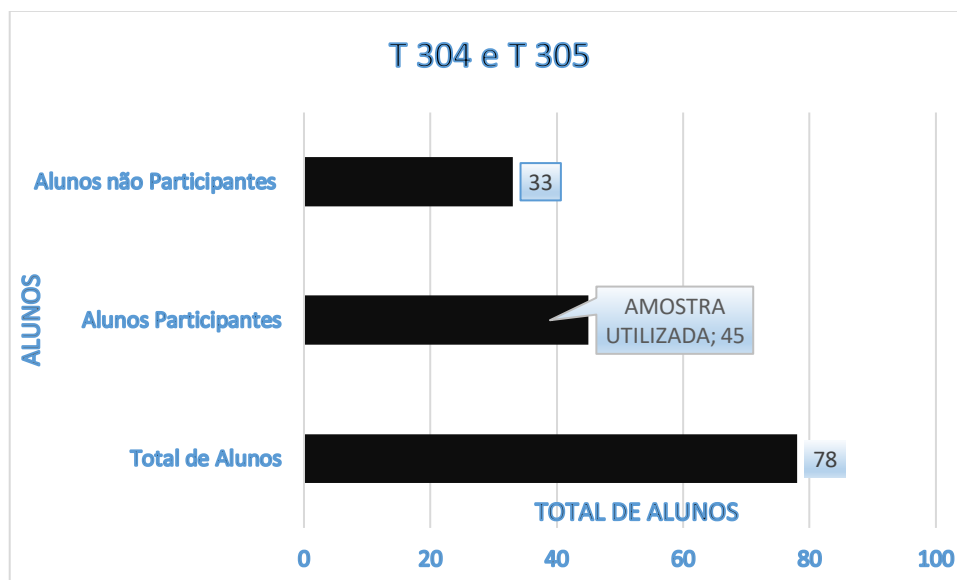
No primeiro encontro com as turmas 304 e 305, no dia 6 e 7 de maio, respectivamente, apresentou-se um questionário com questões abertas segundo (SurveyMonkey 1999), com objetivo de coletar respostas, entender o nível de conhecimentos que as turmas possuíam e configurar os Organizadores prévios.

As perguntas abertas são exploratórias por natureza e oferecem aos pesquisadores dados avançados e qualitativos. Em suma, elas proporcionam ao pesquisador a oportunidade de obter insights sobre todas as opiniões relacionadas a um tema com o qual ele não tem familiaridade. No entanto, por ser qualitativo por natureza, esse tipo de pergunta não tem a relevância estatística necessária para uma pesquisa conclusiva. (SurveyMonkey 1999)

O questionário foi elaborado com dez perguntas sobre pressupostos conhecimentos relevantes à difração e o mesmo pode ser visto no **Apêndice I**. No dia da aplicação do questionário, 27 alunos da turma 304 e 18 alunos da turma 305 participaram do processo. Os alunos que faltaram a esse dia da aplicação do diagnóstico, não puderam participar das atividades restantes, pois não teria sentido a participação deles em algumas etapas e sim, em todas.

Logo abaixo pode ser visto um gráfico contendo a relação da amostra utilizada, o número de ausentes e o número total de alunos propostos à participação.

Gráfico 1: Amostragem e total de alunos



Fonte: Autoria própria (2019)

10. CONSTRUINDO O MAPA CONCEITUAL

Depois de se analisar (em casa) as respostas obtidas no questionário inicial das turmas 304 e 305, cujo objetivo era quantificar os seus conhecimentos prévios sobre ondulatória (dia 6 de maio para a turma 304 e dia 7 de maio para a turma 305), iniciou-se uma discussão sobre os princípios necessários e desconhecidos à compreensão do tema difração da luz, tecendo um Mapa Conceitual no quadro branco da sala, com ajuda dos alunos, a partir das suas falas e inserindo complementos que compunham novas informações na formação dos Organizadores Prévios. Assim corrigiram-se certos conceitos incompletos e mal interpretados pelos alunos.

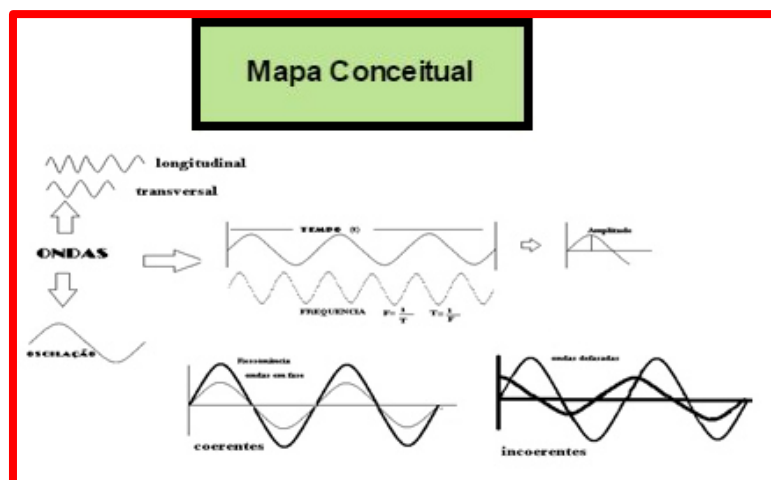
Um Mapa Conceitual é um diagrama estruturado relacionando ideias e conceitos pertinentes a um tema com ampla abordagem e permite que um conteúdo seja memorizado de forma rápida e trabalhado por meio de palavras chaves, interligadas estrategicamente ou cronologicamente.

O mapa tem sua gênese em Joseph Novak baseado na teoria de aprendizagem construtivista de David Ausubel e, segundo ele.

Os mapas conceituais servem para tornar claro, tanto aos professores como aos alunos, o pequeno número de ideias chave em que eles se devem focar para uma tarefa de aprendizagem específica. Um mapa conceitual também pode funcionar como um mapa rodoviário visual, mostrando alguns dos trajectos que se podem seguir para ligar os significados de conceitos de forma a que resultem proposições. Depois de terminada uma tarefa de aprendizagem, os mapas conceituais mostram um resumo esquemático do que foi aprendido. (NOVAK 1984, 31)

Na figura 26 abaixo, temos um exemplo de Mapa Conceitual não correspondendo ao que foi desenvolvido na turma, pois um problema técnico em celular não permitiu salvar a foto. Pode-se construir em um quadro branco com a ajuda de alunos ou o docente pode pedir que cada equipe, individualmente, ou a critério, produza um mapa conceitual, depois de apontar os pormenores de construção.

Figura 26: Exemplo de mapa conceitual



Fonte: Autoria própria (2019)

11.OBSERVAÇÕES SOBRE A AULA

Nesse encontro com duração de 50 minutos, no dia 08 de maio com a turma 305 e dia 13 de maio com turma 304, desenvolveu-se uma aula dialogada sobre a difração da luz, resgatando seus conhecimentos prévios sobre onda, frequência da onda, comprimento de onda, princípio de Huygens, interferência construtiva e destrutiva, diferença de percurso, princípios de Geometria na construção da aprendizagem do conteúdo, Difração. Em seguida, ainda nesse encontro, dividiu-se a turma em quatro grupos, sendo dois grupos com 4 alunos e dois grupos com 5 alunos para a turma 305. Já para a turma 304 formou-se dois grupos de 9 alunos, um com 6 e outro com 3 alunos. Posteriormente, forneceu-lhes os roteiros de montagem dos experimentos além de propor-lhes a realização de uma pesquisa na net e/ou livros didáticos com culminância em apresentação das atividades.

12.DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES

No quarto encontro, dia 14 de maio para turma 304 e 20 de maio para turma 305, os alunos das equipes montaram os Experimentos: Medida da espessura de um fio de cabelo com uso de um laser, Redes de difração, Produção de Cartazes e Produção de vídeo conforme as imagens e fizeram as apresentações.

3.6.1. MEDIDA DA ESPESSURA DE UM FIO DE CABELO

Os alunos da turma 304 montaram o experimento - Figura 27, usando uma caixa de papelão com um fio de cabelo disposto verticalmente sobre a abertura e o *laser* colocado a uma certa distância da caixa sobre alguns livros para dar a altura correta da iluminação do laser sobre o fio de cabelo na abertura, e apresentaram em pouco tempo.

Observou-se que o grupo da turma 304, responsável pelo experimento da medida da espessura de um fio de cabelo, montou somente o experimento deixando de lado a parte do tratamento matemático da medida do fio de cabelo.

Esperava-se que fizessem a medida da espessura, mas eles limitaram-se a demonstrar somente a figura de difração, demonstrando falta de conhecimentos básicos em matemática.

Figura 27 : Experimento montado para verificar o efeito da difração no fio de cabelo: turma 304.



Fonte: Autoria própria (2019)

Em relação à medida da espessura de um fio de cabelo, a equipe da turma 305 montou o experimento, fizeram as medições e o cálculo da medida da espessura do fio.

Figura 28 : Montagem para verificação da difração em um fio de cabelo: turma 305.



Fonte: Autoria própria (2019)

Depois de posicionar o laser e apontar para o fio de cabelo, os alunos obtiveram a imagem ilustrada abaixo, figura 29, e para espanto geral, não surgiu como esperado: apenas uma sombra na frente do laser, e sim um ponto de luz grande no centro seguido por pontos de luz com intensidade decrescente, a partir do centro para os lados.

Em relação às medidas, colocaram a caixa de papelão a uma distância de 1,22m da parede, o Laser a uma distância de 39 cm da abertura da caixa e obtiveram uma figura que, ao medir a extensão entre o centro do primeiro máximo e o primeiro mínimo, acharam 0,9 cm.

Enumerando os dados:

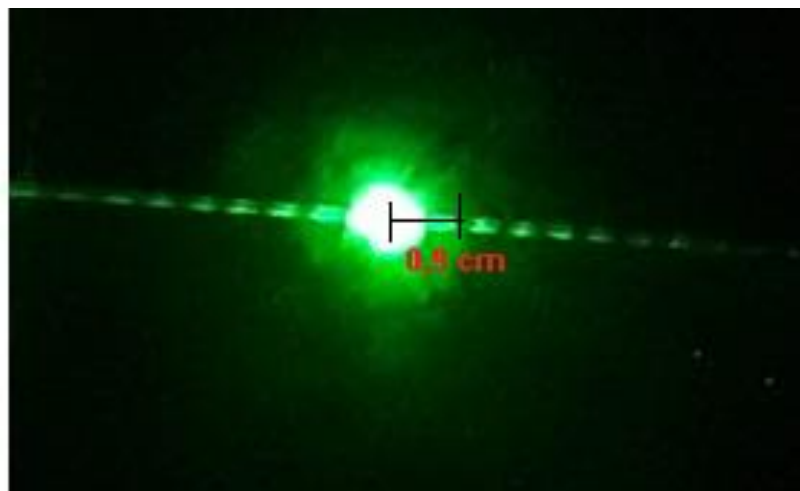
$$m = 1$$

$$\lambda = 560 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$D = 1,22$$

$$Y_m = 0,9 \text{ cm que corresponde a } 0,09 \text{ metros}$$

Figura 29 : Imagem obtida com a incidência do laser sobre o fio de cabelo.

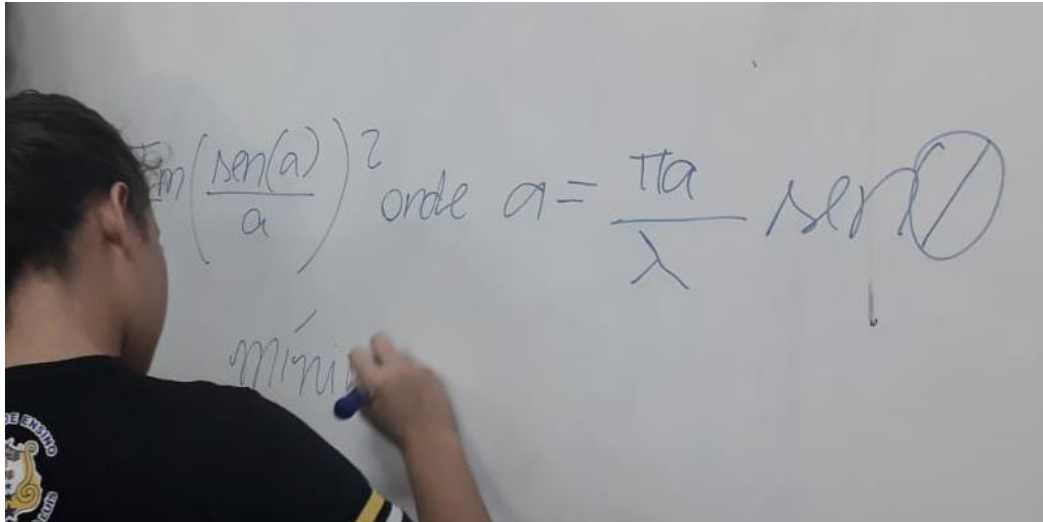


Fonte: Autoria própria (2019)

Usando a formula já descrita anteriormente. Na figura 30, temos a aluna desenvolvendo o cálculo da espessura do fio de cabelo.

$$e = \frac{m\lambda D}{Y_m}$$

Figura 30: Cálculo da espessura do fio de cabelo - Turma 305.



Fonte: Autoria própria (2019)

Colocando os valores correspondentes na fórmula.

$$e = \frac{1.560 \times 10^{-9} \cdot 1,22}{0,09} = \frac{683,2 \times 10^{-9}}{0,09} = 7.591,11 \times 10^{-9} \text{ metros que corresponde a } 7,591 \times 10^{-6} \text{ metros, ou } 0,75 \times 10^{-5} \text{ m.}$$

Esperava-se que a medida da espessura de um fio do cabelo aproximasse do valor 7×10^{-5} m, já determinado por outrem, segundo o experimento ilustrado no site ponto ciência, que determinou esse valor para a média da espessura do fio de cabelo. o valor encontrado é da mesma ordem da medida já efetuada por outros, apresentando somente uma diferença de -6,25.

3.6.2. REDES DE DIFRAÇÃO

A segunda equipe da turma 304 montou seu experimento da seguinte maneira, um aluno segurou o CD e outro apontou o laser para o CD demonstrando o funcionamento da rede de difração. No momento em que o feixe de luz atingiu o CD surgiram vários pontos de luz espaçados, conforme a figura 31.

Figura 31 : Montagem da Rede de Difração: Turma 304.



Fonte: Autoria própria (2019)

A segunda equipe da turma 305 trouxe o CD dentro do seu invólucro. Um dos componentes ligou o laser e apontou o feixe de luz para o CD (rede de difração) que emitiu pontos de luz separados.

Figura 32: Montagem para a rede de difração T 305.



Fonte: Autoria própria (2019)

Esperava-se que alguma equipe das turmas, responsável pela Rede de Difração, transcendesse das demonstrações experimentais para demonstrações matemáticas usando equações apresentadas durante a aula e calculando a distância entre os sulcos de um CD, mas nenhuma das equipes responsável pela rede de

difração o fez, limitaram-se a demonstrar o efeito e, por conseguinte, demonstrando a aversão dos alunos por cálculos .

3.6.3. CARTAZES

As terceiras equipes, turmas 304 e 305, produziram os cartazes em casa e só apresentaram na sala durante o encontro, depois, colaram os cartazes sobre os precursores da difração na parede da sala de aula, conforme a figura abaixo.

A observação aqui é que alguns cartazes contiveram dados ilustrativos e gráficos sobre os precursores que foram apresentados oralmente, enquanto outros contiveram só ilustrações e apresentação oral.

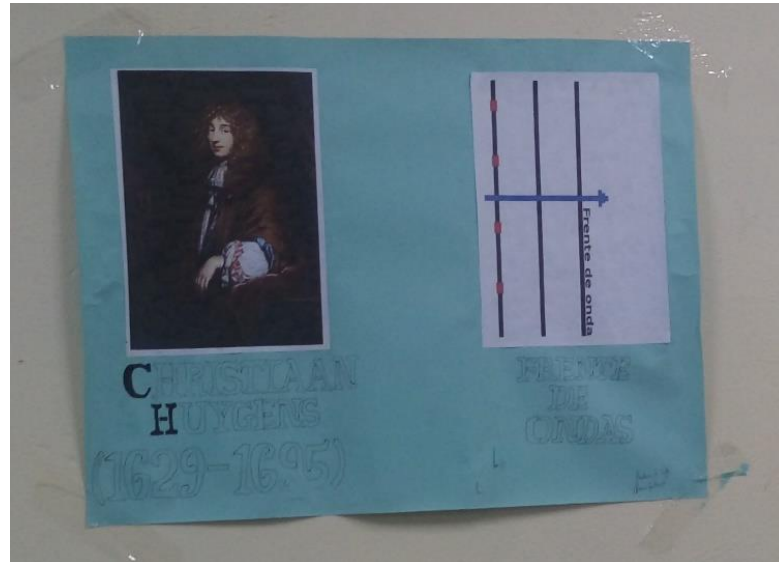
Figura 33 :Cartazes produzidos na Turma 304.



Fonte: Autoria própria (2019)

Cartaz sobre Christian Huygens produzido pela turma 305.

Figura 34 : Cartaz produzido: Turma 305.



Fonte: Autoria própria (2019)

Cartazes sobre Thomas Young e Isaac Newton produzidos por alunos da turma 305

Figura 35: Cartazes produzidos na Turma 305.



Fonte: Autoria própria (2019)

3.6.4. PRODUÇÃO DE VÍDEOS

As quartas equipes das turmas 304 e 305 produziram um vídeo explicando sobre a difração da luz. Uma das turmas, no caso a 304, produziu o vídeo na própria sala de aula durante intervalo de aulas, enquanto a equipe da turma 305 produziu um vídeo em casa e trouxeram para exibir ver figuras 36 e 37.

Figura 36: Experimento montado para a produção do vídeo explicativo.



Fonte: Autoria própria (2019)

Nesta figura 37 extraída do vídeo as alunas estão explicando sobre os efeitos da difração.

Figura 37 :Grupo apresentando o vídeo.



Fonte: Autoria própria (2019)

13. ANÁLISE DA RESPOSTAS DOS QUESTIONÁRIOS.

Pode-se definir aqui as análises das avaliações compostas por testes de:

1 - **Conhecimentos Prévios**, com 10 questões (ver Apêndice I).

2 - **Conhecimentos adquiridos em Difração da Luz** durante a aplicação da Sequência Didática, após a execução e apresentações dos trabalhos (ver apêndice II)

3 - Avaliação qualitativa de **Avaliação da metodologia de ensino** com 5 questões (ver apêndice III)

4.1. QUESTIONÁRIO DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS DA TURMA 304

Na primeira questão, ao exigir um desenho do formato de uma onda, e examinar as respostas, notou-se que todos possuíam conhecimentos sobre o formato gráfico.

Já a questão 2, na qual pediu-se para descrever quais tipos de ondas conheciam, todos referiram se, em suas respostas, às ondas sonora ou eletromagnética.

Na questão 3, sobre como produzir ondas, 24 alunos demonstraram a compreensão de produção de ondas na água e 3 desconheciam.

Em compreensão sobre movimento periódico e O que é período, questão 4, apenas 6 alunos responderam que conheciam, 4 não opinaram e 17 desconheciam o movimento periódico.

Analisando a questão 5 sobre: O que é frequência? 9 alunos desconheciam o assunto, enquanto 18 já retinham a definição sobre Frequência.

Em conhecimentos sobre ressonância, questão 6, 5 alunos entendiam o significado físico, 2 não opinaram e 1 aluno disse que conhecia, mas não definiu, outro respondeu que não sabia e 18 alunos associaram ressonância ao exame médico da ressonância magnética.

Na questão 7, em conhecimento sobre interferência de ondas, 5 alunos possuíam uma concepção deturpada, enquanto 9 sabiam do que se tratava e 13 não souberam definir.

Questão 8: Interferência de ondas na água, 4 alunos já haviam presenciado o fenômeno nas águas das marés. O restante dos entrevistados, 23 alunos, desconheciam a observação do fenômeno.

Em princípios geométricos seno, cosseno e tangente (questão 9), 10 alunos detinham o conhecimento e 17 alunos não conheciam ou não estavam lembrando.

Na décima pergunta, sobre por que você consegue ouvir uma pessoa do outro lado do muro, mas não vê, 15 alunos referiram-se à difração do som. Quanto a difração da luz ninguém opinou e 12 alunos não souberam explicar.

4.2. QUESTIONÁRIO DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS DA TURMA 305

Ao se analisar as respostas dos alunos da Turma 305, na exigência do desenho do formato de uma onda (questão 1), dentre os 18 entrevistado somente 1 não soube definir uma onda graficamente.

Na questão 2, a qual se pediu para descrever quais tipos de ondas conheciam, todos referiram-se às ondas: sonora, eletromagnética e gravitacionais.

Na questão 3, sobre como produzir ondas, 12 alunos referiram-se à produção de um pulso eletromagnético; 2 não souberam opinar; 2 descreveram a produção de ondas pelo vento; 1 descreveu a produção de uma onda Tsunami e outro (só um) mencionou a produção de onda sonora através de outra onda.

Quanto ao movimento periódico e O que é período, questão 4, 9 alunos responderam satisfatoriamente que entendiam; 4 não opinaram, 4 desconheciam o movimento periódico e 1 definiu de forma incorreta.

Analisando a questão 5 sobre: O que é frequência? 9 alunos desconheciam o assunto, enquanto 9 já retinham a definição sobre.

Sobre o conhecimento da ressonância (questão 6) 5 alunos entendiam o significado físico enquanto 2 não opinaram. 1 aluno disse que sim, mas não definiu.

Outro respondeu que não sabia e 9 alunos associaram ressonância ao exame médico da ressonância magnética.

Na questão 7, em conhecimento sobre interferência de ondas, 5 alunos possuíam uma concepção deturpada, enquanto 9 deles sabiam do que se tratava e outros 5 não souberam definir.

Questão 8: Interferência de ondas na água, 4 alunos responderam que já haviam presenciado o fenômeno nas águas da maré e 14 alunos, ou seja, o resto dos entrevistados, desconhecia o fenômeno na prática.

Em princípios geométricos, nona questão, para descrever sobre seno, cosseno e tangente, 10 alunos detinham o conhecimento e 8 alunos não conheciam ou não estavam lembrando.

Na décima pergunta sobre, por que você consegue ouvir uma pessoa do outro lado do muro, mas não vê, 15 alunos referiram-se à difração do som. Quanto à difração da luz, ninguém opinou e 3 alunos não souberam explicar.

Depois de aplicar o questionário em sala de aula e sondar as respostas em casa, passou-se a tecer um diálogo elucidando as definições pertinentes e preparando os Organizadores Prévios com o objetivo de reforçar os Subsúncios necessários aos novos saberes da Difração da luz.

Abaixo, insere-se tabelas constituídas por notas obtidas na aplicação do questionário de verificação dos conhecimentos prévios existentes no cognitivo dos alunos.

Tabela 1 – Relação de notas obtidas durante o questionário de conhecimentos prévios da turma 305

T 305	
ALUNO	NOTA
Aluno 1	4
Aluno 2	3
Aluno 3	4
Aluno 4	2
Aluno 5	8
Aluno 6	2

continua na pagina seguinte

continuação

Tabela 2 – Relação de notas obtidas durante o questionário de conhecimentos prévios da turma 305

Aluno 7	3
Aluno 8	5
Aluno 9	5
Aluno 10	4
Aluno 11	3
Aluno 12	3
Aluno 13	6
Aluno 14	4
Aluno 15	5
Aluno 16	6
Aluno 17	6
Aluno 18	4

FONTE: autoria própria (2019)

Tabela 3– Relação de notas obtidas durante o questionário de conhecimentos prévios da turma 304

T 304	
ALUNO	NOTA
Aluno 1	6
Aluno 2	7
Aluno 3	7
Aluno 4	6
Aluno 5	8
Aluno 6	5
Aluno 7	8
Aluno 8	6
Aluno 9	5
Aluno 10	5
Aluno 11	7
Aluno 12	7
Aluno 13	7
Aluno 14	7
Aluno 15	5,5
Aluno 16	5
Aluno 17	5

Continua na pagina seguinte

Continuação

Tabela 4– Relação de notas obtidas durante o questionário de conhecimentos prévios da turma 304

Aluno 18	4
Aluno 19	5
Aluno 20	4
Aluno 21	5
Aluno 22	4
Aluno 23	4
Aluno 24	3
Aluno 25	7
Aluno 26	2
Aluno 27	7

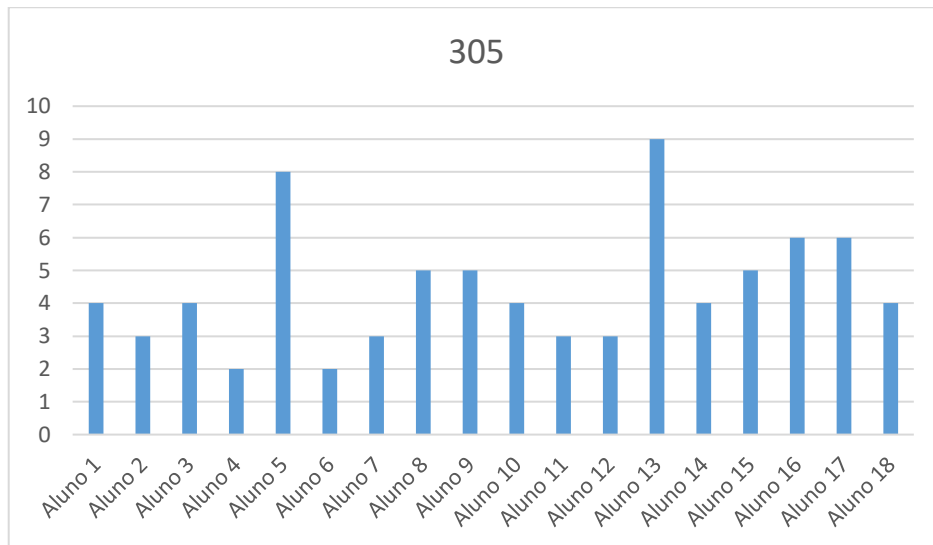
Fonte: autoria própria (2019)

4.3. GRÁFICOS

Juntando-se os dados das tabelas monta-se os gráficos 2 e 3 abaixo, com as notas obtidas nas turmas 305 e 304, respectivamente.

Pelo gráfico 2 construído, observa-se que a maioria dos alunos da turma 305 submetidos às questões obteve nota abaixo de 5 e somente quatro alunos obtiveram nota acima de 5, dentro da média escolar. Três alunos obtiveram a nota 5 e onze com nota inferior a 5.

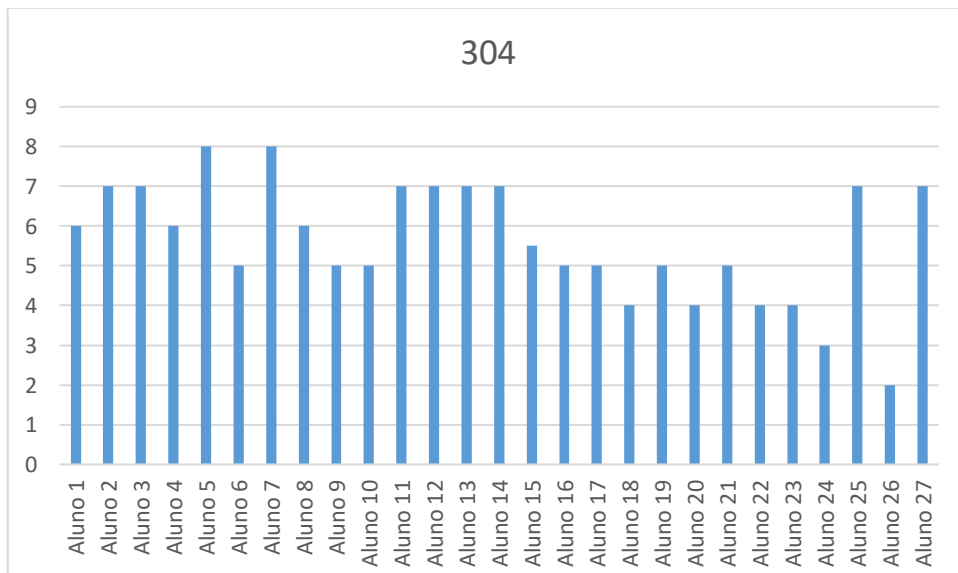
Gráfico 2 – Conhecimentos prévios da turma 305



Fonte: Autoria própria (2019)

Pelo gráfico 3, abaixo, observa-se que treze alunos da turma 304 submetidos às questões obtiveram nota acima de 5 dentro da média enquanto catorze alunos obtiveram nota abaixo de 6, nota insuficiente, não alcançando a média 6.

Gráfico 3– Conhecimentos prévios da turma 304

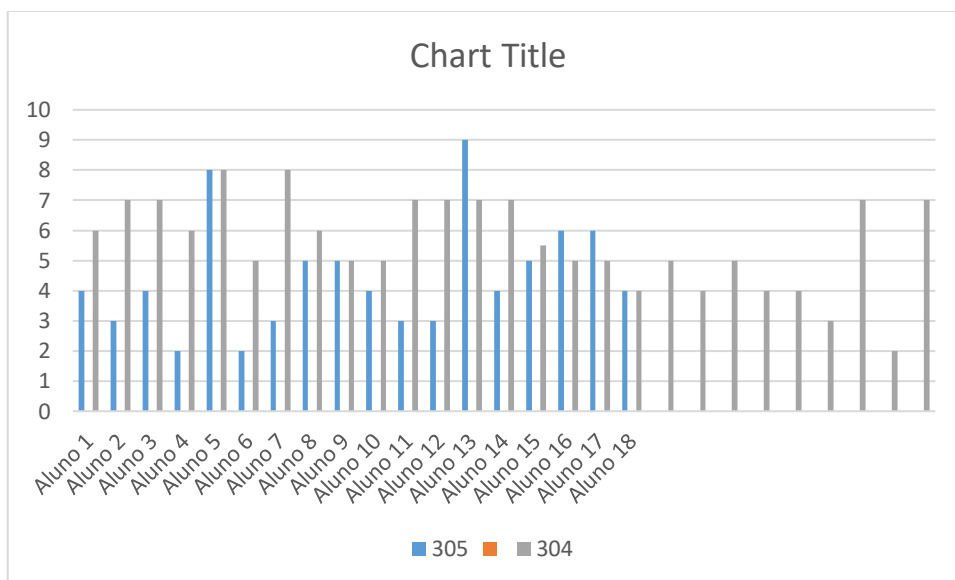


Fonte: Autoria própria (2019)

Um outro gráfico comparativo montado com a junção dos dois gráficos, se bem que só os gráficos individuais já permitiam uma estimativa, nos leva a perceber que

os alunos da turma 304 estavam mais preparados que os alunos da turma 305, veja gráfico 4 abaixo.

Gráfico 4 – Comparação de notas obtidas no teste de conhecimentos prévios entre as duas turmas



Fonte: Autoria própria (2019)

4.3.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE A APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS

O fundamento da aplicação destas questões foi somente para se ter uma noção dos conhecimentos prévios necessários e, a partir daí, reforçá-los para a compreensão dos novos conhecimentos sobre Difração da Luz. De acordo com as notas obtidas no gráfico comparativo, observa-se que, no geral, os alunos possuíam uma baixa compreensão em Ondulatória, carecendo de reforço, o que foi feito durante o desenvolvimento do Mapa Conceitual.

4.4. QUESTIONÁRIO SOBRE DIFRAÇÃO DA LUZ

Após apresentação, no quarto encontro, os alunos foram submetidos a um teste para dedução dos conhecimentos obtidos na aula e desenvolvimento dos trabalhos. Se compararmos os dois questionários, percebe-se nesse segundo a opção por questões fechadas, isto foi para garantir que o tempo fosse suficiente para

apresentação de trabalhos e marcação de respostas do questionário e que, somente a décima questão envolvia cálculo.

4.4.1. ANÁLISE DAS RESPOSTAS DA TURMA 304

Na turma 304, 27 alunos participaram do questionário que visava avaliar os conhecimentos obtidos durante a aplicação da sequência didática fundamentada na Difração.

A primeira pergunta, objetiva, referia-se ao experimento de Thomas Young e sua dupla fenda. O aluno teria que relacionar o fenômeno com a definição do conceito da difração da luz. Dos 27 entrevistados, 16 marcaram a opção correta e 11 erraram a questão.

A segunda questão referia-se às condições de obtenção da difração da luz quanto ao tamanho da fenda. O aluno teria que relacionar a difração da luz e a difração do som, embora sendo de comprimentos de ondas diferentes, a difração acontece e 18 alunos souberam definir o fenômeno correspondente. Enquanto 9 marcaram outras opções.

Na pergunta objetiva de número três havia 4 fenômenos relacionados à difração e um não correspondente. O aluno teria que marcar e identificar o fenômeno não correspondente a difração, sendo que 15 demonstraram entendimento sobre os fenômenos expostos e 12 estiveram confusos.

Na quarta questão, o aluno deveria enumerar e identificar as figuras que ilustravam ondas em fase e defasadas. 7 alunos enumeraram e identificaram corretamente a fase e defasagem. 5 não souberam definir. 1 não soube opinar e 14 ficaram em meios termos, identificaram apenas 3 ondas em fase e defasadas.

O aluno deveria, na quinta questão, observar o desenho de uma fenda com duas ondas propagando-se até um anteparo. Uma onda iniciando na parte superior da fenda e outra partindo da parte inferior, e explicar se no ponto de intersecção das ondas, anteparo, estaria ocorrendo uma interferência construtiva ou destrutiva. Nesta questão, 10 alunos responderam corretamente, 6 descreveram respostas não condizentes e 11 não souberam responder.

Ao serem entrevistados a que pontos escuros ou claros corresponderiam às interferências construtivas e destrutivas, na sexta questão, 26 responderam corretamente e somente 1 aluno marcou resposta incoerente.

Na sétima questão o aluno deveria relacionar o fenômeno da luz branca refletida em um CD com uma rede de difração, 15 marcaram resposta correta e 12 marcaram respostas erradas.

Oitava questão: ao serem questionados sobre quem seria o precursor dos estudos sobre difração da luz, 26 alunos erraram a questão e somente um sabia a resposta correta.

A nona questão exibia uma foto de difração obtida em experimento em sala de aula e se pedia que marcassem a questão correspondente à significância dos pontos tracejados: 12 alunos não souberam opinar e 15 responderam corretamente.

Na utilização de princípios geométricos para determinação da espessura de um fio de cabelo, somente 6 dominaram os cálculos matemáticos. Os outros 21 não souberam manejar.

Na tabela 4 dispõe-se as notas obtidas e na tabela 5 uma relação entre questões, erros e acertos da turma 304.

Tabela 5 - Relação das notas obtidas na Turma 304

Notas 304	
Aluno 1	2,5
Aluno 2	7
Aluno 3	6
Aluno 4	5
Aluno 5	5
Aluno 6	6
Aluno 7	5

Continua na próxima pagina

conclusão

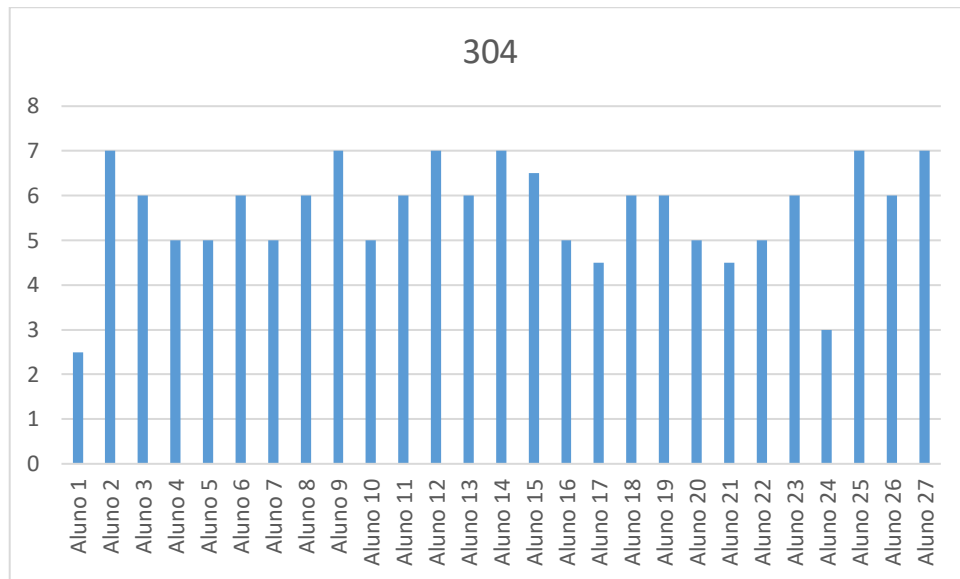
Tabela 6 - Relação das notas obtidas na Turma 304

Aluno 8	6
Aluno 9	7
Aluno 10	5
Aluno 11	6
Aluno 12	7
Aluno 13	6
Aluno 14	7
Aluno 15	6,5
Aluno 16	5
Aluno 17	4,5
Aluno 18	6
Aluno 19	6
Aluno 20	5
Aluno 21	4,5
Aluno 22	5
Aluno 23	6
Aluno 24	3
Aluno 25	7
Aluno 26	6
Aluno 27	7
Aluno 28	2,5
Aluno 29	7

Fonte: Autoria própria (2019)

Com as notas obtidas na tabela construiu-se um gráfico comparativo de notas, onde podemos verificar que dezesseis alunos, dentre os 27, atingiram ou superaram a média, enquanto 11 alunos não alcançaram a média 6,0.

Gráfico 5 - Notas na 304



Fonte: Autoria própria (2019)

4.4.2. ANÁLISE DAS RESPOSTAS DA TURMA 305

Na correspondência do experimento de Thomas Young com a difração da luz utilizando duas fendas, todos acertaram a primeira questão.

Questão 2: Ao relacionar o comprimento da onda com o tamanho do obstáculo ou tamanho da fenda, 6 alunos souberam relacionar e 12 não marcaram a questão corretamente.

Na distinção das condições dos fenômenos difrativos, questão 3, 4 alunos obtiveram erro e 14 obtiveram acertos.

Quarta questão: Distinguir graficamente ondas em fase e defasadas: 3 alunos não souberam opinar, outros 3 identificaram metade da questão e 12 distinguiram corretamente as ondas em fase e defasadas.

Identificação gráfica de interferência construtiva ou destrutiva, questão 5, obteve-se 10 respostas corretas e 8 sem definição.

Todos acertaram a questão 6 onde o aluno deveria identificar a correspondência dos pontos claros e escuros com as interferências destrutiva ou construtiva.

Na questão 7, que tratava da relação do fenômeno da incidência da luz em um CD e seu comportamento como rede de difração, só 6 alunos marcaram a opção correta e 12 marcaram outras opções

Todos erraram a oitava questão, onde deveriam marcar a opção Maria Grimaldi referindo-se ao precursor dos estudos sobre difração da luz

Identificando os pontos tracejados na foto do experimento realizado em sala por eles mesmos referente às interferências construtiva e destrutiva, questão 9, 12 conseguiram marcar a questão correspondente, enquanto 6 confundiram referindo-se a espessura do fio de cabelo.

A décima questão, reproduzindo o cálculo da espessura do fio de cabelo, 11 souberam aplicar os conhecimentos matemáticos, enquanto 6 não souberam definir.

Abaixo mostra-se uma tabela com as relações entre questões, erros e acertos obtidos na turma 305. A tabela 4 mostra as notas obtidas nessa turma.

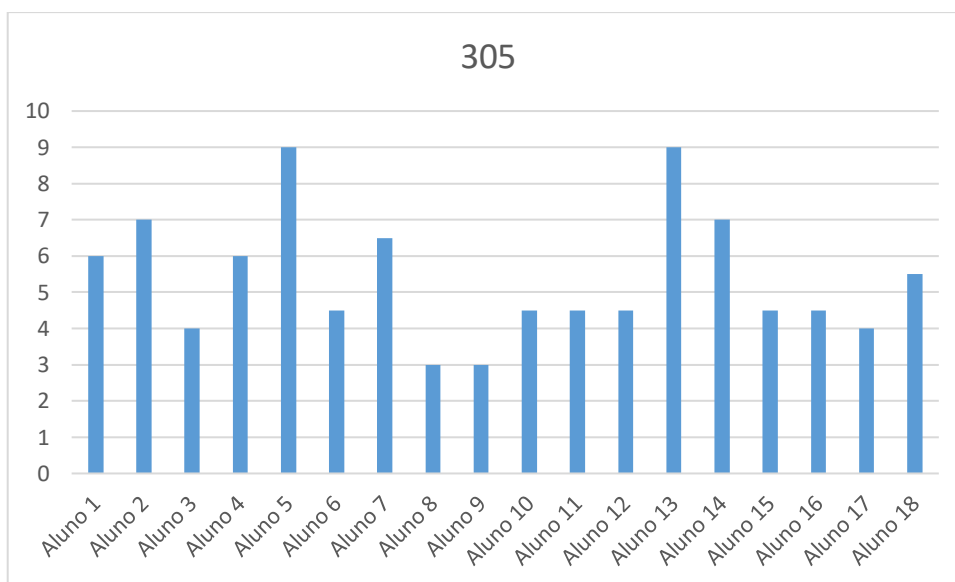
Tabela 7 - Relação das notas obtidas na Turma 305

Notas 305	
Aluno 1	6
Aluno 2	7
Aluno 3	4
Aluno 4	6
Aluno 5	9
Aluno 6	4,5
Aluno 7	6,5
Aluno 8	3
Aluno 9	3
Aluno 10	4,5
Aluno 11	4,5
Aluno 12	4,5
Aluno 13	9
Aluno 14	7
Aluno 15	4,5
Aluno 16	4,5
Aluno 17	4
Aluno 18	6

Fonte: Autoria própria (2019)

Com as notas obtidas na tabela construiu-se um gráfico comparativo de notas, onde podemos verificar que somente 7 alunos, dentre os 18, atingiram ou superaram a média, enquanto 11 alunos não alcançaram a média 6,0.

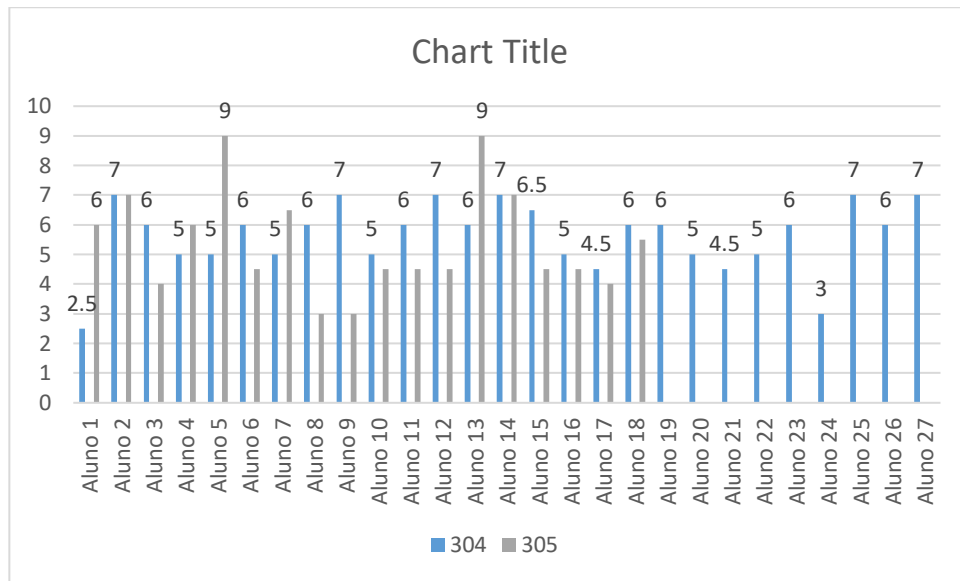
Gráfico 6 - Notas na 305



Fonte: Autoria própria (2019)

A partir das tabelas 3 e 4 construiu-se o gráfico 7, abaixo, onde é possível comparar a relação de notas entre as turmas 304 e 305, obtidas após a aplicação do segundo questionário. Percebe-se que a turma 305 obteve o pico de notas mais altas que a turma 304, mas, por outro lado, é difícil distinguir qual das turmas obteve maior aprovação. Contando o número de alunos que obteve nota igual ou superior à média verifica-se que, na turma 304, 16 alunos estão dentro dessa perspectiva, enquanto que na turma 305 apresenta só 7 alunos, daí podemos calcular as porcentagens e enunciar que 59% dos alunos da turma 304 e 38% da turma 305 estão dentro da média, concluindo-se que o sucesso foi maior na turma 304, ou seja, obteve-se mais aprendizagem nesta.

Gráfico 7 - Comparação de notas nas turmas



Fonte: Autoria própria (2019)

4.4.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE A APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO 2

Durante a aplicação desse questionário cuidou-se para que alunos que não participaram no desenvolvimento do trabalho em ambas as turmas não respondessem. Além de exigir-se para aqueles que participaram a execução de suas respostas individualmente, tomando-se o cuidado para que certos alunos não tentassem copiar respostas de outro. Esses cuidados não foram difíceis de serem praticados, uma vez que o número de participantes esteve reduzido.

4.5.ACEITAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Para avaliar a metodologia de ensino proposta foi elaborado um questionário disposto no Apêndice III com 5 (cinco) questões e aplicado nas duas turmas.

4.5.1. RESPOSTAS OBTIDAS NA ENTREVISTA DE ACEITAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Turma 304

Na primeira pergunta sobre aceitação da Sequência Didática 24 alunos, correspondendo a um percentual de 83%, gostaram da forma diferente de abordagem de conteúdos e somente 2 alunos (7%) não gostaram e 1 (10%) ficou indecisos.

Na segunda questão, 25 alunos (90%) concordaram com a metodologia, enquanto 1 (7%) não souberam opinar e 1 aluno (3,5%) discordou da metodologia.

Nos trabalhos em grupos, 24 alunos (86,5%) acharam que trabalhando em grupo facilitou a aprendizagem. 2 Alunos ficaram indecisos (10%) e somente um (3,5%) não gostou de trabalhar em grupo.

Em qual parte da sequência acharam mais interessante, 23 alunos (83%) preferiram os experimentos enquanto 2 alunos (7%) gostaram de tudo, outros 2 (7%) ficaram indecisos e 1 (3,5%) gostou dos questionários.

As opiniões obtidas sobre a Sequência Didática foram diversas e somente 15 alunos teceram comentários que poderão ser vistos na conclusão desse trabalho.

Tabela 8 - Respostas da T 304 em relação a aceitação da sequência didática

Aceitação 304	Sim	Não	Não sei
Abordagem de conteúdo de forma diferente.	24	2	1
Metodologia	26	1	
Trabalhar em grupo	25	1	1
A) o mapa conceitual			

continua

Tabela 9 - Respostas da T 304 em relação a aceitação da sequência didática

continuação

B) os questionários	1		
C) os experimentos	24		
D) produção de cartazes			
E) produção de vídeo			
F) tudo	1		
G) não sei opinar	1		

Então, analisando as respostas obtidas na turma 304, montou-se o Quadro 1, em que é possível perceber que a forma de abordagem, a metodologia e trabalhar em grupo obtiveram grande aceitação enquanto que pela forma de trabalho a maioria preferiu experimentos.

Quadro 1– Opinião pessoal da turma 304

Opinião pessoal	1 – “É importante porque nos ajuda a conhecer e aprender um pouco mais sobre a física”.
-----------------	---

continua

continuação

Quadro 2– Opinião pessoal da turma 304

Opinião pessoal	2 – “Os trabalhos apresentados foram de suma importância para melhor absorver sobre o assunto passando principalmente pelos experimentos realizados”. [sic] 3 – “Um assunto bastante complexo pois demanda concentração poderíamos ter experimentos e testes para melhorar os desenvolvimentos dos alunos.” [sic] 4 – “Possomos dizer que a difração é o fenômeno que acontece quando uma onda encontra um obstáculo, o fenômeno da difração é descrito como uma aparente flexão das ondas em volta de pequenos obstáculos e também como o espalhamento, ou alargamento, das ondas após atravessar orifício ou fendas. [sic] 5 – “Foram muitos assuntos a respeito de difração, mas faltou abordar mais o assunto, ou seja, aprofundar mais. [sic] 6 – “Foi muito bom, pois aprendemos bastante, principalmente na parte dos experimentos.” [sic] 7 – “Os experimentos foram bons, faltou mais explicação.” [sic]
-----------------	---

Continua

continuação

Quadro 3– Opinião pessoal da turma 304

Opinião pessoal	8 – “Tudo que aprendemos com experiencias, aulas etc. foi fundamental para sabermos mais sobre a física. [sic] 9 – “Gostei, devia ter mais trabalhos com mais experimentos, pois com o desenvolvimento de mais trabalhos os alunos tendem a melhorar o aprendizado. [sic] 10 – “Essa sequencia de questionário facilitou o relacionamento de opiniões e o conhecimento do professor sobre a dificuldade dos alunos. [sic] 11 – “Porque faz com que nos permite conhecer melhor os efeitos da difração. [sic] 12 – “É importante conhecer mais o assunto de formas diferentes, como: Vídeos, Experimentos e Questionários, 13 – “Achei muito importante, pois aprendemos de uma forma mais prática e divertida. Aprendemos na prática gostei muito.” [sic]
-----------------	---

Continua

Quadro 4– Opinião pessoal da turma 304

Opinião pessoal	14 – “Os trabalhos em grupo são muito importante para a aprendizagem de todos, mas quando não a organização e dedicação, fica uma coisa muito vaste, sem explicação e todos da sala perdem com isso. [sic] 15 – “Os trabalhos devem ser melhor estudados para apresentação. [sic]
-----------------	---

Turma 305

Na primeira pergunta sobre aceitação da Sequência Didática, 18 alunos (100%) marcaram a letra **a**, ou seja, todos gostaram.

Na segunda questão, todos 18 alunos (100%) marcaram a letra **a**, ou seja, todos gostaram da metodologia,

Na questão sobre trabalhar em grupos, todos entrevistados, 18 alunos (100%), marcaram a letra **a** indicando que todos gostaram de trabalhar em grupo.

Em qual parte da Sequência acharam mais interessante, 17 alunos (94%) gostaram de produzir experimentos e só um aluno preferiu a produção de cartazes.

Dos 18 entrevistados sobre as opiniões obtidas sobre a Sequência didática, somente 5 alunos teceram comentários que são reproduzidos no capítulo da conclusão.

Tabela 10 – Respostas da T 305 em relação a aceitação da Sequência Didática

Aceitação 305	sim	não	não sei
Forma diferente de abordagem do conteúdo	18		

continua

Conclusão

Tabela 11 – Respostas da T 305 em relação a aceitação da Sequência Didática

Metodologia	18		
Trabalhar em grupo	18		
A) o mapa conceitual			
B) os questionários			
C) os experimentos	17		
D) produção de cartazes	1		
E) produção de vídeo			
F) tudo			
G) não sei opinar			

Assim, a partir das respostas obtidas na turma 305, montou-se o Quadro 2, no qual se observa a forma de abordagem, a metodologia e trabalhar em grupo obtiveram aceitação total, enquanto que pela forma de trabalho a maioria prefere os experimentos e somente 1 prefere trabalhar com cartazes.

Quadro 5– Opinião pessoal da turma 305

Opinião pessoal	1 – “Os experimentos são bastante eficazes para o melhor entendimento de determinado assunto, pois desperta a
-----------------	---

continua

Quadro 6– Opinião pessoal da turma 305

Opinião pessoal	a imaginação e em principal fixa a curiosidade que consequentemente eleva o interesse.” [sic] 2 – “Eu achei muito interessante os experimentos, muito boa as ideias, aprendi muito com o experimento que eu fiz.” [sic] 3 – “O experimento de difração só trouxe conhecimento aos alunos como também pode motivá-los a obter mais conhecimento do mesmo modo, porém com novos assuntos.” [sic] 4 – “Se botamos um fio de cabelo em um leiser irá ter vários pontos.” [sic] 5 – “Gostei bastante desse assunto fizemos até um experimento eu e a minha equipe. Com o fio de cabelo que ao invés de aparecer só um pontinho, apareceram vários. [sic]
-----------------	--

4.5.2. CONSIDERAÇÕES SOBRE A APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO SOBRE ACEITAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.

As respostas acima evidenciadas indicam que a sequência obteve sucesso qualitativamente e aceitação significativa, como se nota pelas respostas tabeladas.

As opiniões (questão 5) da turma 305 foram todas favoráveis à continuidade da Sequência Didática, já as opiniões da turma 304, dez delas foram favoráveis e 5 exigem uma melhoria, por exemplo, a resposta 3 deve estar referindo-se às outras aulas de Física, pois durante esta sequência houve experimentos.

A resposta 5 deve tratar-se de aluno com bom conhecimento.

A resposta 7 trata de um aluno criticando outro (rivalidade)

A resposta 14 critica outro grupo

Resposta 15 grupo critica grupo

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Propôs-se aqui trabalhar Difração da Luz usando outra metodologia que não seja usualmente baseada em transmissão de saberes isolados sem conexão com a realidade discente. Descreveu-se fatos educacionais que ocorrem no dia a dia do cotidiano escolar na disciplina Física e, baseado nestes, construiu-se uma Sequência Didática fundamentada nas teorias de Aprendizagem Significativa de David Ausubel e Aprendizagem Significativa Crítica de Marcos Moreira.

A tabela 1 exibe as questões com números de acertos e erros nas turmas após um pré-teste de aferição de conhecimentos prévios.

Já o segundo teste, aplicado após a apresentação dos trabalhos, nos forneceu uma visão da aprendizagem adquirida dentro das teorias de David Ausubel e Marcos Moreira.

Verificando o gráfico 6, onde compara-se as notas obtidas nas duas turmas, observa-se que a Turma 305 obteve notas melhores do que a Turma 304 (mais da metade que se submeteu ao questionário) e na T 305 tivemos só 7 alunos dentro da média, daí afirma-se que houve aprendizagem significativa somente na turma T 304.

A forma de abordagem do conteúdo teve aceitação significativa pelos alunos, 83% na turma 304 e 100% na turma 305, pois durante a aplicação das atividades eles tiveram autonomia para escolher a forma que queriam trabalhar e com qual grupo se identificariam, dentre os quatro grupos e quatro formas de trabalhos oferecidas como opção. Esta ação reforça a motivação do aluno na aprendizagem e ele assume um papel relevante no ensino aprendizagem, já que não foi forçado a participar de atividade e grupo sem afinidades. (ALMEIDA, 2002)

A metodologia também foi de satisfação para os alunos, pois também obteve bastante aceitação - 90% na turma 304 e 100% na turma 305. O aluno experimentou uma forma diferente de aprendizagem. De acordo com Perrenoud (1995, p.28, apud Teodoro, p.4) *diferenciar o ensino é: “organizar as interações e atividades de modo que cada aluno se defronte constantemente com situações didáticas que lhe sejam as mais fecundas”*

Trabalhar em grupo, 86,5% da turma 304 e 100% da turma 305 se sentiram enturmados em suas produções. Ao deparar-se com um problema pode ser que

somente uma ideia não seja suficiente para a resolução sendo conveniente mais sugestões para envolver o problema, assim, trabalhar em grupo prepara o discente para atuar em equipe, resolvendo futuros problemas. Ao trabalhar em grupo o aluno desenvolve o respeito para com os demais, aprende a expor e a ouvir opiniões contrárias à sua e desenvolve sua capacidade intelectual.

O trabalho em grupo ajuda também a desenvolver características como a de cooperação, responsabilidade e interação dentro da turma. Além disso, alunos que possuem mais dificuldade nas disciplinas acabam, muitas vezes, tendo mais facilidade de entender o que o colega fala. Com isso, tirando dúvidas e melhorando o seu desempenho, com a ajuda dos colegas. (ESCOLAWEB, 2020, on-line)

trabalhar com grupos exige certa perspicácia do docente pois há aqueles alunos que são improdutivos e o mesmo site escola web dá sugestões

Como em toda tarefa, nem tudo sai perfeito sempre. É necessário que o professor esteja **preparado para trabalhar** com uma sala mais agitada e com aqueles alunos menos interessados que podem aproveitar desse momento para “escapar” da atividade e deixar o trabalho nas mãos dos colegas. Uma dica para driblar esse problema é colocar os mais indisciplinados no mesmo grupo, pois eles terão que pensar e dialogar, já que não contarão com um aluno mais aplicado para fazer a tarefa. Porém, o docente é quem melhor conhece o comportamento da turma e deverá avaliar se essa é a melhor maneira de divisão. Enquanto a atividade é realizada, é essencial que o professor acompanhe e oriente as equipes, tirando dúvidas ou até sugerindo algo quando notar que o início da atividade é um pouco difícil. É necessário se portar como um bom mediador para ter um resultado positivo. (ESCOLAWEB 2020, on-line)

Pelas respostas obtidas na pesquisa de aceitação, é notório que, nas duas turmas, a opção pelos experimentos tiveram estimada preferência: 83% na turma 304 e 94% na turma 305. Estes resultados muito relevantes permitem ao aluno ser protagonista do seu conhecimento isso acontece quando relatam:

- “Gostei bastante desse assunto fizemos até um experimento eu e a minha equipe. Com o fio de cabelo que ao invés de aparecer só um pontinho, apareceram vários. [sic]

“O experimento de difração só trouxe conhecimento aos alunos como também pode motivá-los a obter mais conhecimento do mesmo modo, porém com novos assuntos.” [sic]

Podemos verificar que o aluno não só constrói seu conhecimento como já transcende para outros assuntos, isso está dentro da perspectiva de aprendizagem de Antonio Moreira. Além disso, quando o próprio aluno monta o experimento está **aprendendo a fazer e aprendendo a conhecer** de acordo com Delors (1998, p.90-92) e a síntese dos quatro pilares do conhecimento para o século XXI.

De 2020 a 2022 há uma transição nos paradigmas curriculares do ensino médio e uma vez que esta proposta de trabalho tenha obtido relevância qualitativa, ela continua validada, pois vai de encontro aos principais objetivos da Base Nacional Curricular Comum - BNCC nos quais o aluno deve sentir-se atraído pela metodologia de ensino, bastante notável nos resultados qualitativos deste trabalho, garantindo sua aplicabilidade.

Ainda que este trabalho tenha alcançado certos fatores favoráveis, não substitui outras metodologias, surgindo como aspecto colaborador, até para uso com aquelas obras que não há uma abrangência profunda no tema. Uma sugestão quanto a melhoria, aconselha-se o desenvolvimento deste durante a apresentação da ondulatória, por exemplo, e para que os alunos venham a efetuar os cálculos na determinação da espessura do fio de cabelo e distância entre os sulcos de um CD, se faz necessário um planejamento junto ao professor de matemática para preparar o aluno na efetivação de cálculos.

Um outro item que pode ser inserido durante a exploração das redes de difração é o uso de um DVD, além do experimento do CD, onde o aluno explorará diferenças no espaçamento entre os raios de luz refletidos pelo CD e DVD.

Estes são alguns itens identificados em primeira instância, que deixaram a desejar neste trabalho e que se pretende inseri-los. Além disso, a obra está para novos itens a serem sugeridos e incluídos com a finalidade de atingir-se um refinamento do trabalho.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Leandro S. **Facilitar a aprendizagem: ajudar aos alunos a aprender e a pensar**. Psicologia Escolar e Educacional, Campinas- SP, vol. 6, nº 2, dezembro, 2002. Disponível em: < https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-85572002000200006&script=sci_arttext&lng=pt>. Acesso em 23 de jun. 2020.

ALMEIDA, Jose Neres de. *Espectrofotômetro na Web*. 13 de Março de 2012. Disponível em:< <https://www.pucsp.br/webduino/experimentos/espectrofotometro-remoto-automatizado/blog-experimento.html>> (acesso em 25 de Outubro de 2018).

AROCHA, Felipe. **Capítulo 36, Interferência.s.d**. Disponível em :< <https://slideplayer.com.br/slide/359069/>> Acesso em: 2 de maio de 2020.

ASSIS, M. **Difração de ondas**. 10 slides. [S,I]. [2016?] Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/disciplina/oficina-do-ensino-de-fisica?ordem=1>>. Acesso em: 29 de jul. 2018.

ALVARES, Beatriz Alvarenga; GUIMARÃES, C. C.; DA LUZ, A. M. R. **Física 2: Contextos e Aplicações**. São Paulo SP; Editora Scipione, 2018. p209-216

AUSUBEL. D. P. **Aquisição e retenção de conhecimento: uma perspectiva cognitiva**. Lisboa: Platanos, Edições Técnicas, 2001, capítulo 1, p.17. [S,I]. Disponível em:<http://www.uel.br/pos/ecb/pages/arquivos/Ausubel_2000_Aquisicao%20e%20retencao%20de%20conhecimentos.pdf>. Acesso em: 12 de out. de 2018.

BISCUOLA, G. J.; BÔAS, N. V.; DOCA, R.H. **Física 2**. São Paulo: Editora Saraiva, 2018. P. 146.

BONJORNO, José Roberto. *et al*. **Física 2: Aula por Aula**. São Paulo; Editora FTD, 2018. p.235-236.

BRASIL. **Lei Nº 9394 de 20 de Dezembro de 1986**. [S,I][2016?].Disponível em:<http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/lei9394_ldbn1.pdf>. Acesso em: 30 de jul. 2018.

———. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais** (Ensino Médio). Brasília, 1999. Disponível em: < <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>>, Acesso em 26 de abr. de 2019.

———. Base Nacional Comum Curricular (BNCC). **Educação é a Base**. Brasília, MEC/CONSED/UNDIME, 2017. Disponível em :< http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf>. Acesso em 27 de maio de 2020.

CACIONE, Andreza. Et al. **Física 2: Ser Protagonista**. São Paulo, SP; Editora SM Ltda, 2018. p.154

Catraquinha. **Saiba por que escolas públicas do Ceará são as melhores do país**. 27 de Janeiro de 2017. <https://catraquinha.catracalivre.com.br/geral/aprender/indicacao/saiba-por-que-escolas-publicas-do-ceara-sao-as-melhores-do-pais/> (acesso em 30 de Junho de 2018).

CAVALCANTE, M.A.; TAVOLARO, C. R. C. Uma Oficina de Física Moderna que Vise a sua Inserção no Ensino Médio. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 18, n. 3, p. 372- 389. dez. 2001. São Carlos. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/download/10027/9274>>. Acesso em: 31 de jul. 2018.

COSTA, A.A **Importancia da Aprendizagem Significativa na Formação Profissional**. [S,I][2016?]. Disponível em: <<https://www.rhportal.com.br/artigos-rh/a-importncia-da-aprendizagem-significativa-na-formao-profissional/>>. Acesso em: 23 de set.2018.

DELORS, Jacques et al. Educação um Tesouro a Descobrir: Relatório para a UNESCO da Comissão Internacional Sobre Educação para o Século XXI. tradução de José Carlos Eufrásio. Cortez Editora.,1998, 288p

DEMO, P. **Educar pela pesquisa**. 8. ed. Campinas: Autores Associados, 2009. [S,I].

DIFRAÇÃO DA LUZ POR FENDAS. **Laboratório de Ensino de Óptica**. [S,I][2015?] Disponível em: <<https://sites.ifi.unicamp.br/laboptica/roteiros-do-laboratorio/3-difracao-de-fendas/>>. Acesso em: 24 de out. 2018.

DIFRAÇÃO. [S,l][2016].Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2082003/mod_resource/content/1/interferencia_difracao.pdf>. Acesso em: 01 de set. 2018.

EINSTEIN, A E INFELD. **"A Evolução da Física"**. [S,l][2015?]. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/rdecstro/einstein-infeld-a-evolucao-da-fisica>>. Acesso em 21 de nov. de 2018.

ESCOLAWEB.**Como o Trabalho em Grupo Impacta na Aprendizagem em Sala de Aula.** escola web, [S.l][2019?] .Disponível em:< <https://escolaweb.com.br/blog/trabalho-em-grupo-impacta-aprendizagem/> >. Acesso em 23 de jun. 2020.

FIALHO, N. N.; ROSENAU, L. S. **Didática e avaliação da aprendizagem em química**. Curitiba: Intersaberes, 2009. p151.

FILHO, A. G.; TOSCANO, Carlos. **Física 2: Interação e Tecnologia**. Editora LEYA, 2018. p186,187.

GALLO, Henrique; MENDES, Jáiro ; TERUO, Marcos e BELIZÁRIO, Ronaldo. **Propostas e Projetos para o Ensino de Física**. [S,l][2018?].Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/127400/mod_resource/content/0/1sem_harvard_unesco_henrique_jairo_marcos_ronaldo.pdf>. Acesso em: 03 de jul. 2018.

GASPAR, Alberto. **Física 2: Compreendendo a Física**. São Paulo SP; Editora Ática, 2018. P137-139

GOOGLE maps.2020. Disponível em <<https://www.google.com.br/maps/@39.5078511,-9.1473956,1119m/data=!3m1!1e3>>. Acesso em 25 de Jul. de 2020.

GRASSELLI, Erasmo Carlos, e Daniel GARDELI. “o ensino da física pela experimentação no ensino médio - Seed - PR.” *o ensino da física pela experimentação no ensino médio - Seed - PR*. 2014. http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes_pde/2014/2014_uem_fis_artigo_erasmo_carlos_grasselli.pdf (acesso em 22 de Outubro de 2018).

HALIDAY, Resnick, Walker. **Fundamentos de Física 4**. Rio de Janeiro : LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2009.

—— **Fundamentos de Física 2.** Vol. 08. Rio de Janeiro: LTC -Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2009.

INTERFERENCIA: **Física geral iv.** 10 out. 2018. 48 slides. [S,I]. Disponível em: <<http://midia.cmais.com.br/assets/file/original/586f0d64316ab73bf400c9419bc2f90f43a82dc0.pdf>>. Acesso em: 10 de out. 2018.

LIMA, D. **Estude sem Sair de Casa.** [S,I][2018?].Disponível em: <<http://estudeadistancia.professordanilo.com/?tag=rede-de-difracao>>. Acesso em: 25 de out. 2018.

LING,S. J., SANNY, J. and MOEBS, W., **University Physics**, Volume 3, OpenStax, Houston, 2016.

MACHADO, J.V.H.**Física:** Bonjorno. [S,I][2011?].Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAfJbMAD/fisicfa-bonjorno>>. Acesso em: 01 de out. 2018.

——. “**Física** - Bonjorno - Exercícios de Física envolvendo Energia ...” *EBAH*. 2016. [S,I].Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAfJbMAD/fisicfa-bonjorno>> acesso em 01 de out. de 2018.

MACHADO, Nuno. **Aulas de Física e Química**.s.d disponível em:< http://www.aulas-fisica-quimica.com/8f_15.html> Acesso em 2 de out. de 2018.

MARANHÃO, Secretaria de Estado da Educação: Diretrizes Curriculares. 3 ed. 2014. Disponível em : < <https://www.educacao.ma.gov.br/files/2015/11/Seduc-Ma-Diretrizes-Curriculares-A4-3%C2%AA-Edicao-09092014-1.pdf> > Acesso em 3 de maio de 2020.

MARTINI, Glorinha. Et al. **Física 2: Conexões com a Física.** São Paulo SP; Editora Moderna, 2018. p257-259.

MOREIRA, Marco Antonio. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa.** Instituto de física da UFRGS,Rio Grande do Sul.[2015?] Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf>>. Acesso em: 23 de out.2018.

——. Aprendizagem Significativa Crítica. Publicada também em Indivisa, **Boletín de Estudios e Investigación**, nº 6, pp. 83-101, 2005, com o título Aprendizaje

Significativo Crítico. 1ª edição, em formato de livro, 2005; 2ª edição 2010. IS BN 85- 904420- 7- 1. [S,I]. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigcritport.pdf>>. Acesso em: 18 de set. 2018.

——. Aprendizagem Significativa: da visão clássica à visão crítica. **Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa**, v. 1, n. V, p. 1– 15, 2006.

——. Aprendizagem significativa crítica. **III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa**, n. 3, 2010. p. 33–45.

——. Teorias de Aprendizagem. São Paulo, São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária EPU, 1999. p. 153

NOVAK, Joseph D. *Aprender a Aprender*. Lisboa: Paralelo Editora Ltda, 1984. p31.

OGASAWARA, Jenifer Satie Vaz. **O Conceito de Aprendizagem de Skinner e Vygotky: um diálogo possível**. Salvador:UNEB, 2008. Disponível em: <<http://www.uneb.br/salvador/dedc/files/2011/05/Monografia-Jenifer-Satie-Vaz-Ogasawara.pdf>>. Acesso em: 02 de jul. 2018.

PANZINNI, Darlin Nalú Avila e ARAUJO, Fabricio Viero. **O uso do vídeo como ferramenta de apoio ao ensino- aprendizagem**. [S,I][2016?].Disponível em:<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/729/Pazzini_Darlin_Nalu_Avila.pdf?sequence=1>. Acesso em: 21 de out. 2018.

PELIZZARI, Adriana et al. Teoria da aprendizagem significativa segundo ausubel. **Revista PEC**, v.2, n.1, p.37- 42, jul. 2001- jul. 2002. [S,I]. Disponível em: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/materiais/0000012381.pdf>>. Acesso em: 25 de set. 2018.

PIETROCOLA, Maurício et al. Física em Contextos 2. São Paulo; Editora do Brasil, 2016. 404 p.

PIQUEIRA, J. R; CARRON, W.; GUIMARÃES, O. **Física 2**. Editora Atica, 2018. p.144-146

QUARTIERI, Renata. *Professora Renata Quartieri*. 2020. <https://renataquartieri.com/vestibular-2/exercicios/fenomenos-ondulatorios/> (acesso em 25 de maio de 2020).

SÁ, Maria Aparecida de. **As teorias educacionais e suas contribuições para a prática pedagógica na atualidade brasileira**. 20 de setembro de 2010. [S,I]. Disponível em: <<https://www.webartigos.com/artigos/as-teorias-educacionais-e-suas-contribuicoes-para-a-pratica-pedagogica-na-atualidade-brasileira/47704>>. Acesso em: 27 de jun. 2018.

SÁ, Robiaon. Info Escola - **Concepção pedagógica tradicional**. 22 de fev. 2014. [S,I]. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/pedagogia/concepcao-pedagogica-tradicional/>>. Acesso em: 30 de Jun de 2018.

SCARINCI, Anne e MURAMATSU, Mikiya. **Difração**. [S,I][2014?]. Disponível em :< <https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=1039419>>. Acesso em : 18 de set. 2018.

SILVA, S. de C. R. da; SCHIRLO, A. C. Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel: Reflexões Para o Ensino de Física Ante a Nova Realidade Social. **Imagens da Educação**, v. 4, n. 1, p. 36-42, 2014.

SLIDEPLAYER. **Capítulo 36 - Interferência**.s.d. disponível em: < <https://slideplayer.com.br/slide/359069/>>. Acesso em 22 de dezembro de 2019.

SurveyMonkey. **Perguntas fechadas x Perguntas abertas**. 1999. Disponível em : <<https://pt.surveymonkey.com/mp/comparing-closed-ended-and-open-ended-questions/>> (acesso em 28 de maio de 2019).

SULEE. **Supervisão de Estatísticas Educacionais**. Centro de Ensino Cidade d e São Luis. [S,I][2016?]. Disponível em: <http://sistemas.educacao.ma.gov.br:8080/estatistica/escolas/escolas.php?cod_inep=21021910&ano=2016>. Acesso em: 28 de jul. 2018.

TEODORO, Nilce Mara. **Metodologia de ensino: Uma contribuição pedagógica para o processo de aprendizagem da diferenciação**. Metodologia de ensino - Secretaria da Educação. [S,I][2014?]. Disponível em : < <http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/2234-8.pdf>> Acesso em 23 de jun. 2020

TERRAZZAN, Eduardo Adolfo. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. Cad. Cat. Ens. Fís., v.9, n.3: p.209- 214, dez .1992. [S,I]. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/7392/6785>>. Acesso em: 31 de jul. 2018.

TORRES, Carlos Magno. *et al.* **Física 2: Ciencia e Tecnologia**. São Paulo SP. Editora Moderna, 2018, Editora Moderna, 2018. p159-161.

UAB/UFABC. **FTEaD**. [S,l][2015?].Disponível em: <<http://proec.ufabc.edu.br/uab/index.php/roteiros/roteiro4/19-fteadinicio/fteadaulas/126-aula4>>. Acesso em: 29 de jun. 2018.

UNIVERSITY OF SOUTH AUSTRALIA. **How Students Learn**. s.d. Disponível em:<<https://lo.unisa.edu.au/mod/book/view.php?id=610988&chapterid=120208>> (acesso em 03 de julho de 2018).

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Difração**.2007. Disponível em:<https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2082003/mod_resource/content/1/interferencia_difracao.pdf > Acesso em 01 de setembro de 2018.

YAMAMOTO, Kazuhito; FUKU, Luiz Felipe. **Física para o Ensino Médio**. São Paulo SP; Editora Saraiva, 2018. p244. V.2.

Apêndice I - Questionário sobre concepções de ondulatória

Questionário sobre concepções de ondulatória para o terceiro ano do ensino médio

Professor: Jose Alvino

Nome:

1. Tente definir uma onda descrevendo-a ou fazendo uma representação gráfica (um desenho).
2. Você conhece quais tipos ondas?
3. Como se produz uma onda?
4. Você já ouviu falar em movimento oscilatório ou movimento periódico? Se sim, tente explicar o que é e cite exemplo(s).
4. Você já ouviu falar em movimento oscilatório ou movimento periódico? Se sim, tente explicar o que é e cite exemplo(s).
5. O que é frequência na sua concepção? Explique
6. Você já ouviu falar em ressonância? Se sim, tente explicar o que significa, com suas palavras.
7. Você tem conhecimentos sobre interferência de ondas? Explique
8. Já viste alguma figura de interferência de ondas na água? Explique
9. Conhece as relações entre seno, cosseno, catetos e hipotenusa? Explique
10. Por que você consegue ouvir uma pessoa do outro lado do muro, mas não a vê?

Apêndice II - Questionário sobre conhecimentos adquiridos

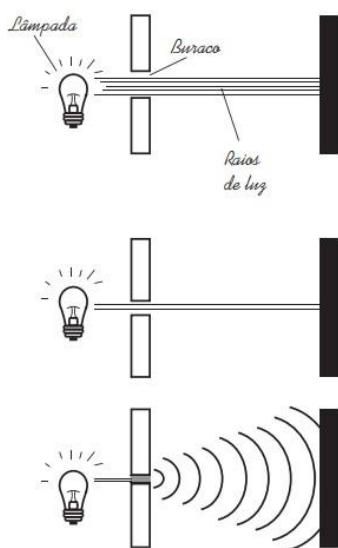
Centro de Ensino Cidade de São Luis

Questões sobre Difração

1 - Thomas Young (1773-1829) fez a luz de uma fonte passar por duas fendas paralelas antes de atingir um obstáculo e observou no anteparo o surgimento de regiões claras e escuras. Marque a alternativa verdadeira a respeito desse fenômeno:

- a) Trata-se do fenômeno da refração, em que a luz tem condição de passar por obstáculos.
- b) Trata-se do fenômeno da difração, que ocorre somente com ondas mecânicas.
- c) Trata-se do fenômeno da difração, em que, após a passagem por pequenos obstáculos, as ondas tendem a contorná-lo.
- d) Trata-se do fenômeno da polarização, em que, após a passagem por pequenos obstáculos, as ondas tendem a contorná-lo.
- e) Trata-se do fenômeno da difração, em que, após a passagem por pequenos obstáculos, as ondas mecânicas tendem a contorná-lo.

2 - Ao diminuir o tamanho de um orifício atravessado por um feixe de luz, passa menos luz por intervalo de tempo, e próximo da situação de completo fechamento do orifício, verifica-se que a luz apresenta um comportamento como o ilustrado nas figuras. Sabe-se que o som, dentro de suas particularidades, também pode se comportar dessa forma.



FIOLHAIS, C. Física divertida. Brasília: UnB, 2000 (adaptado).

Em qual das situações a seguir está representado o fenômeno descrito no texto?

- a) Ao se esconder atrás de um muro, um menino ouve a conversa de seus colegas.
- b) Ao gritar diante de um desfiladeiro, uma pessoa ouve a repetição do seu próprio grito.
- c) Ao encostar o ouvido no chão, um homem percebe o som de uma locomotiva antes de ouvi-lo pelo ar.
- d) Ao ouvir uma ambulância se aproximando, uma pessoa percebe o som mais agudo do que quando aquela se afasta.

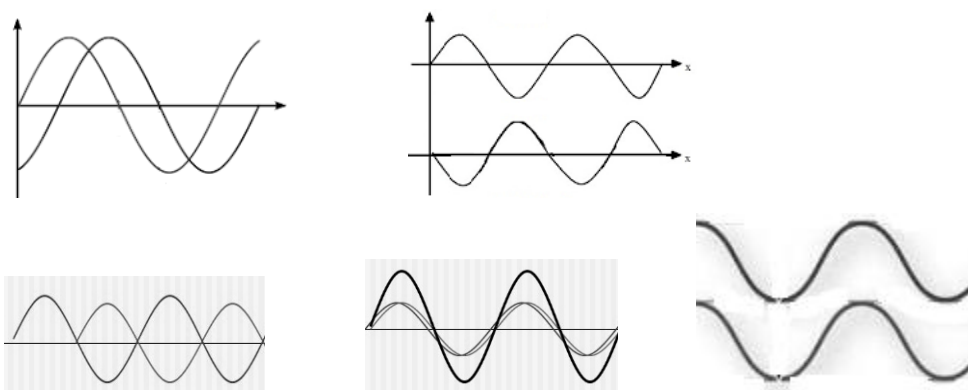
e) Ao emitir uma nota musical muito aguda, uma cantora de ópera faz com que uma taça de cristal se despedace.

3 – A respeito da difração, assinale a opção **falsa**:

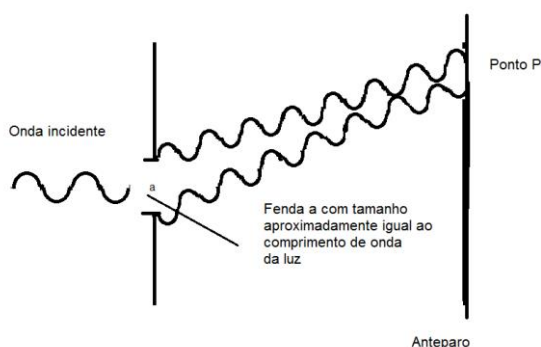
- a) O som se difrata mais do que a luz, porque o seu comprimento de onda é maior.
- b) Os sons graves se difratam mais do que os sons agudos.
- c) A luz vermelha se difrata mais do que a violeta.
- d) Para haver difração em um orifício ou fenda, o comprimento de onda deve ser maior ou da ordem de grandeza das dimensões do orifício ou fenda.
- e) Apenas as ondas longitudinais se difratam.

4 - Enumere as figuras e descreva:

- a) Quais estão em fase
- b) Quais estão defasadas (fora de fase)



5 – Observe a figura de interferência de ondas e descreva se no ponto p está ocorrendo uma interferência destrutiva ou construtiva.



6 – As interferências construtivas e destrutivas correspondem a pontos respectivamente:

- a) Escuro e claro b) Claro e escuro
- c) Azuis d) verdes e) Nda
- d)

7 - Um CD (*Compact Disc*) ao receber luz visível, mostra o espectro de cores contida na luz. Isto ocorre porque o CD se comporta como:

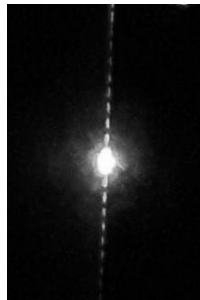
- a) rede de difração
- b) placa polarizada
- c) prisma refrator
- d) lente refletora
- e) nda

8 – Qual foi o precursor dos estudos sobre difração da luz?

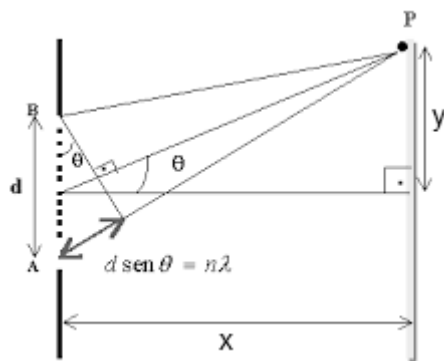
- a) Newton
- b) Thomas Young
- c) Huygens
- d) Francesco Grimaldi
- e) Nda

9 – Na foto da difração do fio de cabelo demonstrada por um aluno, temos um ponto central luminoso e pontos tracejados significando:

- a) Pontos de interferência construtiva e destrutiva
- b) Pontos de luz laser
- c) Reflexos do fio de cabelo
- d) Espessura do laser sobre o fio de cabelo
- e) Nda



10 – Na figura determine a espessura do fio de cabelo iluminado com luz verde de comprimento de onda $\lambda = 500\text{nm}$, ou seja, $5 \times 10^{-5}\text{ cm}$



d = espessura do fio de cabelo; y = distância entre o centro luminoso e o primeiro ponto escuro ($0,01\text{m} = 1\text{cm}$) (obs: isto faz com que $n=1$); x = distância entre o fio de cabelo e a parede ($1\text{m} = 100\text{cm}$).

Use $\rightarrow d = \frac{\lambda x}{y}$ (como demonstrado na aula sobre difração da luz)

Apêndice III - Questionário de aceitação da Sequência Didática

1 – Realização de experimentos; produção de vídeos; produção de cartazes, ou seja, uma forma diferente de abordagem do conteúdo me permitiu conhecer melhor o efeito da difração?

A) sim

B) não

C) não sei

2 - Gostaria de ter mais aulas de física com essa metodologia sobre outros assuntos?

A) sim

B) não

C) não sei

3- Os trabalhos em grupos facilitam a aprendizagem?

A) sim

B) não

C) não sei

4 – Qual a parte da sequência achou mais interessante?

A) o mapa conceitual

B) os questionários

C) os experimentos

D) produção de cartazes

E) produção de vídeo

F) tudo

G) não sei opinar

5 – Deixe sua opinião a respeito da sequência didática sobre difração

Apêndice IV – Sequência didática

SEQUÊNCIA DIDÁTICA

PROFESSOR: JOSÉ ALVINO SOUSA FERREIRA

Disciplina: Física

Período: 29/04/19 a 09/05/2019

Números de sequências: 05 Encontros

Tema gerador: DIFRAÇÃO/INTERFERÊNCIA

Subtema: OPTICA

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Conceitual (saber)

- ❖ Identificar as características da Difração da Luz.
- ❖ Reconhecer a Difração em um fenômeno.

Procedimental (saber fazer)

- ❖ Produzir experimentos com materiais alternativos que demonstrem o efeito da Difração da Luz.

Atitudinal (saber ser)

- ❖ Pesquisar os vários fenômenos que envolvam a Difração da Luz.

ESTRUTURA DA AULA

1ª Parte

O/a professor/a iniciará sua aula aplicando um teste para verificar se os alunos possuem a estrutura cognitiva que lhes permita a compreensão da Difração.

2ª parte

Em seguida constrói um mapa conceitual relativo aos conhecimentos e conceitos da óptica: tal como a natureza da luz, ondas, período, frequência e comprimento de onda da luz,

3ª parte

O docente iniciará via exposição de conteúdos dialogando sobre a Difração no cotidiano do aluno relatando exemplos das ondas no mar, ondas sonoras e ondas da luz. Em seguida o/a professor/a falará sobre os conceitos de Difração e a influência do comprimento da onda sobre o efeito da Difração. Explicará também que a Interferência é fundamental no efeito da Difração, Difração por Fenda Simples, contornando um obstáculo, por Fenda Dupla, as Redes de Difração e fundamentos matemáticos.

4ª parte

Após receberem os roteiros, os grupos apresentarão seus conhecimentos adquiridos na forma de experimentos e produções.

5ª parte

Os alunos responderão a um questionário de aceitação da Sequência Didática

ESTRATÉGIAS DE AVALIAÇÃO**Conceitual**

O docente irá fazer um questionário com perguntas abertas e fechadas para verificar se os alunos entenderam os conceitos da aula

Procedimental

Os alunos construirão vários experimentos sobre difração com material alternativo, além de relatório sobre a construção do experimento realizado

Atitudinal

Os alunos divididos em grupos deverão fazer várias pesquisas sobre a difração (redes de difração; aspectos da produção de vídeo; informações sobre estudiosos da difração; difração em um obstáculo) trazer na aula seguinte para dialogar sobre o seu trabalho a ser produzido.

MATERIAL NECESSÁRIO

GRUPO 1: Confeção do experimento difração sobre um fio de cabelo

caixa de papelão, Laser, fio de cabelo, cola, estilete e mesa.

GRUPO 2: Experimento sobre redes de difração

Laser, CD, caixa de papel, suporte e régua

GRUPO 3: Produção de vídeo

Celular; caixa de papelão, Laser, fio de cabelo, cola, estilete e mesa.

GRUPO 4: Produção de cartazes

Cartolina, revista ou livros e ainda internet, lápis, lapiseira, tesoura, cola.

Apêndice V – Resumo do material e custos

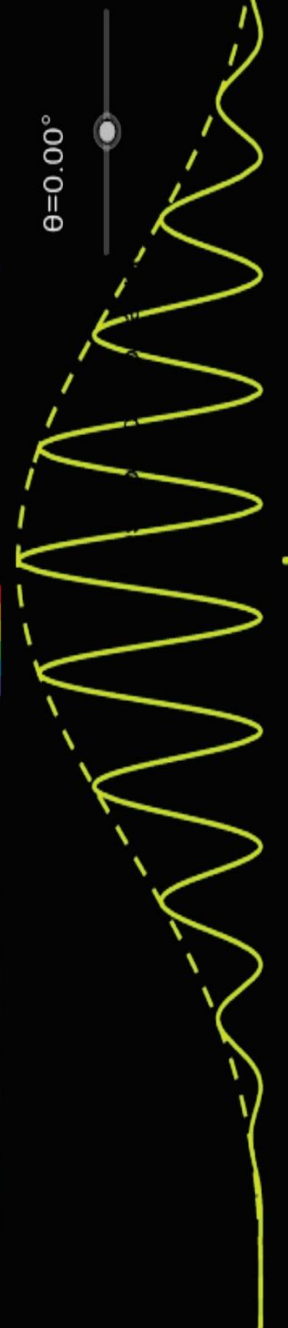
MATERIAL	QUANTIDADE	UNIDADE	TOTAL
Caixas de papelão (para calçados)	2	0	0
Laser	3	5,00	15,00
Fio de cabelo	1	0	0
Cola	3	2,00	6,00
Estilete	1	8,00	8,00
Mesa	4	0	0
CD	1	0	0
Suporte	1	15,00	15,00
Régua	1	2,00	2,00
Celular	1	0	0
Cartolina	2	1,00	2,00
lápiz	1	0	0
lapiseira	1	0	0
tesoura			
TOTAL	48,00		

Apêndice VI – Produto educacional

Sequência didática aplicada ao Ensino Médio

Para estudo da difração da luz

Utilizando materiais alternativos


 $\theta = 0.00^\circ$


JOSE ALVINO SOUSA FERREIRA

EDER NASCIMENTO SILVA

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA POLO 47**

**SEQUÊNCIA DIDÁTICA APLICADA AO ENSINO MÉDIO PARA ESTUDO DA
DIFRAÇÃO DA LUZ UTILIZANDO MATERIAIS ALTERNATIVOS**

JOSÉ ALVINO SOUSA FERREIRA

Material vinculado à Dissertação de mestrado apresentada ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Eder Nascimento Silva

SÃO LUIS - MA
2020

© José Alvino Sousa Ferreira e Eder Nascimento Silva – 2020.

O cronograma apresentando do material neste documento pode ser reproduzido livremente desde que citada a fonte. As imagens apresentadas são de propriedade dos respectivos autores e utilizadas para fins didáticos. Por favor, contate os autores caso constate que houve violação de seus direitos autorais. Este documento é veiculado gratuitamente, sem nenhum tipo de retorno comercial a nenhum dos autores, e visa apenas a divulgação do conhecimento científico e das alternativas de ensino e aprendizagem.

Apresentação

A educação básica deve preparar os alunos para o exercício da cidadania proporcionando competências e habilidades através de uma aprendizagem significativa, para que o aluno desenvolva atitudes de valor na sociedade. Embora pareça satisfatório esse contexto ideal para o ensino-aprendizagem, na realidade de muitas escolas ainda prevalece o tradicionalismo, onde há o repasse de informações oriundas do livro didático e que conta com aula expositiva, exercícios e provas, sem uma contextualização, ou seja o relacionamento deste conteúdo com a realidade do aluno, resultando em informações retidas somente para a execução de provas e que são descartadas e esquecidas logo após o uso por não ter significância. Este trabalho baseia-se nos conhecimentos prévios existentes no(s) aluno(s), ou seja, princípios da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, e Aprendizagem significativa Crítica por Marco Antonio Moreira a qual nos diz que a partir do aprendizado o aluno deve empregar o conhecimento adquirido nas questões do dia a dia. A partir de conhecimento prévio existente que formam os Subsúncos constrói-se novos conhecimentos bem mais complexos sendo que é necessário despertar a curiosidade do aluno em descobrir os efeitos difrativos das ondas do espectro luminoso utilizando material descrito neste trabalho que baseia-se em uma Sequência didática com o intuito de aprofundar os conceitos da difração para além da abordagem dos livros em uma forma teórica e prática inserida ao nível das terceiras séries do ensino médio. Nesse trabalho propõe-se a aplicação de uma sequência didática baseada na teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel e Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica de Marco Antonio, proporcionando mais uma ferramenta, a ser desenvolvida num processo de negociação de significados sendo que os alunos precisam valorizar os conceitos físicos para análise, compreensão e tomada de decisões sobre futuros problemas emergentes e para isso deve-se levar em conta os seus conhecimentos prévios para dar início à construção dos novos conhecimentos e tomada de decisões futuras. Propõe-se a aplicação da Sequência Didática em quatro encontros, ou seja, quatro aulas.

sumário

1. INTRODUÇÃO	124
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	127
2.1. Elementos de uma onda	128
2.2. Tratamento da Óptica geométrica.....	131
2.3. Tratamento da Óptica Ondulatória.....	132
2.4. Interferência de ondas	137
Intensidade da Luz no Pontos de Máximos e Mínimos	140
2.5. Difração em fenda única	143
2.6. Dupla Fenda.....	147
2.7. Redes de Difração	150
1. 159	
2. 159	
3. 159	
3.1. Medida da espessura de um cabelo	159
3.2. Experimento Sobre Redes de Difração	162
3.3. Produção de cartaz.....	164
3.4. Produção de vídeo	165
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	171
REFERÊNCIAS	172

1. INTRODUÇÃO

Ao iniciar-se a docência em Física do Ensino Médio surgem muitas dificuldades no repasse dos conhecimentos, então, busca-se a melhora das aulas no que tange à transposição didática do conteúdo. Uma das dificuldades é a linguagem fora de contexto do aluno do ensino médio, longe de suas compreensões e desvinculada de sua realidade, levando-os, às vezes, a observar a Física como uma disciplina pouco agradável. O resultado é uma desmotivação por parte dos alunos e uma preocupação para professores(as), pedagogos(as) e diretor(es) de escolas, que buscam por um ensino de Física diferenciado que atraia os alunos.

Exercer a função de docente de Física é um grande desafio, alguns professores, devido ao contexto de sua formação acadêmica, encontram-se arraigados em problemas dos antigos livros didáticos de Física para o segundo grau, atual ensino médio, lecionam usando quase que absolutamente a modelagem matemática: só fórmulas e exercícios, relegando ou desconhecendo a fenomenologia tratada e/ou métodos pedagógicos que possam lhes auxiliar didaticamente ao lecionar o conteúdo, o que torna o ensino totalmente conteudista e, às vezes, não extraem nem as siglas como (ITA), (FATEC) e outras do início das questões ao “elaborarem” seus simulados do ENEM ou outras avaliações para aplicações na escola. Exemplifica-se aqui um desses tipos de questão extraída de sites e utilizada por um professor da escola, por meio da qual percebe-se a falta de contextualização.

(Unitau-SP) Um móvel parte do km50, indo até o km 60, onde, mudando o sentido do movimento, vai até o km 32. O deslocamento escalar e a distância efetivamente percorrida são, respectivamente:

- b) 28km e 28km b) 18km e 38km c) 18km e 38km
d) 18km e 18km e) 38km e 18km (MACHADO, 2016)

Para contextualizar a questão acima seria necessário a busca de material mais atualizado, ou remodelar o enunciado desta relacionando o fenômeno ao cotidiano do aluno.

As reclamações ocorrem por parte de alunos tanto em relação à não compreensão dos conteúdos quanto à transmissão destes, e certos docentes, por sua vez, culpam a base matemática do aluno pelo não entendimento do conhecimento repassado. Convém lembrar, que não são todos os docentes e nem devemos desprezar o uso da matemática nas fórmulas, que se torna indispensável quando contextualizadas com os respectivos fenômenos.

Mas a escola pública, desde as reformulações exigidas pela LDB e PCNs (BRASIL, 1999) nas práticas de ensino de Física, tem passado por uma transformação de paradigmas do tradicionalismo para o construtivismo, um modelo atual que considera os processos cognitivos dos alunos. Porém, essa transformação tem acontecido de forma vagarosa, pois a própria política educacional no país corrobora com atraso na implantação do modelo de ensino atualizado na escola pública. Isso ocorre, principalmente, quando as diretrizes têm descendência vertical e baixo investimento na formação de seus profissionais e, por isso, dispõe-se de uma certa quantidade de professores na linha tradicionalista, os quais aplicam fórmulas e cálculos nas resoluções de exercícios.

Já os professores construtivistas instigam o aluno, propondo-lhe situações-problemas, explicando e orientando experimentos e outras atividades pertinentes à Matriz de Referência de Ciências da Natureza e suas Tecnologias (INEP 2015). Percebe-se que a escola pública está caracterizada com uma mistura de métodos de aprendizagem: Tradicional e Construtivista.

Além das reformulações exigidas pela LDB, houve também um tratamento diferenciado no conteúdo da grade curricular devido ao avanço tecnológico permeado pela ciência, que fez a sociedade repensar o currículo das escolas e, através de análise do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2012 a 2014 e do Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM) de 2009 a 2018, nota-se que o Ministério da Educação (MEC) passou a incluir o ensino da física moderna no ensino médio e, muitas obras, atualmente, já abrangem o conteúdo de física moderna (DOMINGUINI et al, 2012). Esse item não constitui escopo desse trabalho, mas configura como um problema a mais a ser tratado pelo professor de Física. Essa alteração provém, há tempos, dos anseios de Terrazan (TERRAZAN, 1992) a Marisa Almeida (CAVALCANTE; TAVOLARO 2001), reforçada pela Lei de

Diretrizes e Bases da Educação Nacional LDB nº 9394/96 (BRASIL 1996) e Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 1999).

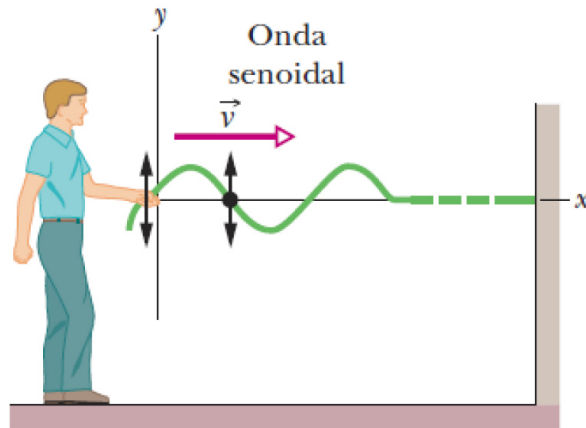
Com a promulgação da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN), o Ministério da Educação e Cultura (MEC) efetivou o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) e reformulou a Base Nacional Curricular Comum (BRASIL, 2017), promovendo assim mudanças significativas na educação nacional, o que sutil melhora em relação à prática pedagógica significativa dos conteúdos. Apesar dessas mudanças, quando se trata da Física no ensino médio, são raras as escolas públicas do Estado do Maranhão que dispõem de laboratórios didáticos para aulas experimentais ou laboratórios de informática para realizar simulações e, quando existem, estão obsoletos ou desativados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os fenômenos Interferência e Difração de ondas se configuram na vida cotidiana como efeitos que são percebidos e ignorados pela maioria das pessoas, ou seja, os efeitos são vistos sem o conhecimento de sua fundamentação: o porquê e como ocorre. Por exemplo, todos veem o arco-íris, mas não imaginam como se origina, alguns atribuem sua existência a algo divino, e outros não fazem nem ideia do que seja. Outro fenômeno corrente é quando seu vizinho liga o som em uma alta intensidade de forma que chegue a seus ouvidos, mesmo havendo paredes separando os cômodos, enquanto outros até já brincaram atirado pedras na superfície de um rio, lago ou mar, e observaram a formação de círculos concêntricos que, ao colidirem com um objeto, fez surgir novas formações de círculos concêntricos, mesmo desconhecendo quais os efeitos estão por trás de tais formações.

Os fenômenos ainda se explicitam quando se olha um tecido de trama fina contra uma lâmpada distante. Quando visualizamos a Lua através de uma nuvem (as gotículas de água na nuvem). Olhando o reflexo num CD vemos faixas ou halos coloridos, devido à difração da luz por pequenos obstáculos (os sulcos do CD). Na figura 1 temos a difração de ondas do mar.

Figura 39 : Formação de uma onda numa corda.



Fonte: (Haliday 2016, 116)

Matematicamente, as ondas ditas clássicas, que oscilam no tempo (t) e se propagam ao longo de uma direção (no presente caso x) com uma velocidade v , obedecem ao que chamamos de equação diferencial de onda, dada pela equação abaixo;

$$\frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} \quad (2.1.1)$$

Cuja solução particular para essa equação pode ser dada por;

$$y(x, t) = y_m \sin(kx - \omega t) \quad (2.1.2)$$

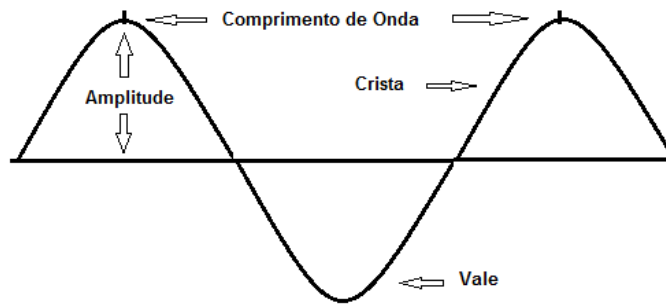
Onde:

A amplitude y_m de uma onda é o módulo do deslocamento máximo sofrido pelos elementos do meio que a onda se propaga a partir da posição de equilíbrio.

A fase de uma onda é o argumento $(kx - \omega t)$ da função seno. Quando a onda passa por uma posição x , a fase varia linearmente com o tempo t .

O comprimento de onda λ é a distância (paralela à direção de propagação) entre repetições da forma da onda, assim como as projeções acima e abaixo do eixo horizontal que são denominados de Crista (acima) e Vale (abaixo) como mostrado na Figura 3.

Figura 40 : Elementos de uma onda.



Fonte: Aatoria própria (2019).

O número de onda k , está relacionado com λ , através de;

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.1.3)$$

O período de oscilação (T) é o tempo gasto por um elemento que sai do meio de uma crista e chega ao meio da crista seguinte executando uma oscilação completa e está relacionado à frequência angular ω através da equação;

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2.1.4)$$

A frequência f de uma onda é definida como T^{-1} e está relacionada à ω através da equação;

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (2.1.5)$$

A velocidade v da onda pode ser calculada por;

$$v = \lambda f = \frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{k} \quad (2.1.6)$$

esta equação da velocidade da onda é semelhante a formula da velocidade no movimento uniforme $v = \frac{s}{t}$. onde s representa o espaço (comprimento da onda λ) e t o tempo gasto (período T)

Esse conjunto de valores caracterizam bem a onda em questão, cada onda possui seu comprimento de onda e frequência características. Quando comparadas duas ondas elas podem possuir esses valores iguais, mas podem possuir uma chamada diferença de fase angular (ϕ) entre si, ou seja, a onda se modelaria como segue;

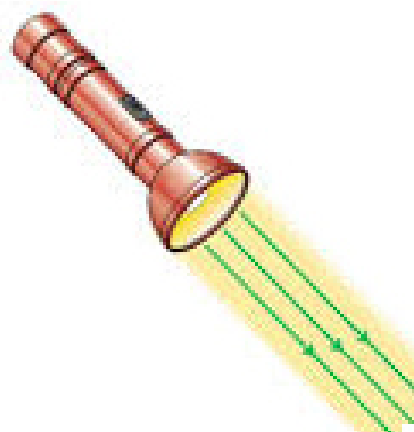
$$y(x, t) = y_m \sin(kx - \omega t + \phi) \quad (2.1.7)$$

Assim como a onda na corda, a luz também é um tipo de onda composta por campos elétrico e magnético e sofre os mesmos efeitos ondulatórios, sendo que o fenômeno da difração foi observado experimentalmente, pela primeira vez, pelo padre jesuíta italiano Francesco Maria Grimaldi (1618-1663) e inclusive nomeou o efeito com o trabalho intitulado *Diffraction*. Atualmente, o estudo das ondas é tratado pelas Ópticas geométrica e ondulatória.

5.2. TRATAMENTO DA ÓPTICA GEOMÉTRICA

Trata o raio de luz como um segmento de reta orientado (Ver Figura 4), e possui limitações ao tentar explicar fenômenos como a difração e a interferência, mas a Óptica Geométrica pode explicar muitos fenômenos envolvendo a luz baseando-se somente em previsões e dispensando um tratamento matemático mais rigoroso. Os principais físicos que estudaram os efeitos de reflexão, refração da luz e formação de imagens em espelhos nessa metodologia foram Newton, Fermat, Snell e Descartes.

Figura 41: Raios de luz representados por retas orientadas.



Fonte: Machado (s.d.)

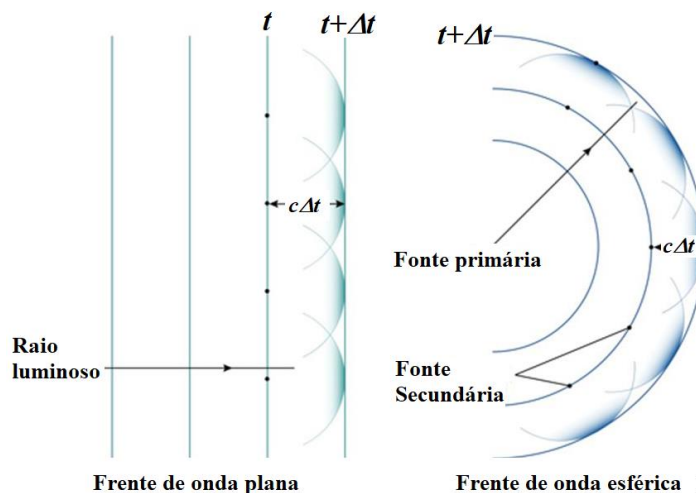
5.3. TRATAMENTO DA ÓPTICA ONDULATÓRIA

Em 1678, Huygens formulou um princípio de grande importância para a compreensão da propagação de ondas publicado em 1690 em seu “tratado sobre a luz”. Embora aplicado apenas à propagação de ondas sonoras (onde o comprimento da onda é próximo das dimensões dos objetos) o princípio de Huygens afirma:

Cada ponto em uma frente de onda funciona como uma nova fonte, produzindo ondas que se propagam com a mesma frequência, velocidade e na mesma direção das ondas originais. (IFPR Oficina do Ensino de Física s.d.)

A Figura 5 ilustra bem o princípio de Huygens considerando frentes de ondas primárias e secundárias planas (da esquerda) e circulares (da direita). As ondas estão se propagando com uma velocidade c . Huygens faz uma transição do princípio geométrico usando retas para círculos, sem fugir da Geometria.

Figura 42 : Cada ponto da frente de onda comporta-se como uma nova fonte de onda.



Fonte: Adaptado de <https://slideplayer.com.br/slide/359069/>¹³

Ele não considera o comprimento de onda no efeito da difração e prevê o mesmo comportamento para todas as ondas indo de encontro ao mesmo obstáculo.

O princípio da ótica geométrica não consegue explicar como ondas sonoras sofrem difração, isto é, se curvam em torno de obstáculos grandes como árvores ou postes, enquanto as ondas de luz visível, não sofrem difração nos mesmos obstáculos.

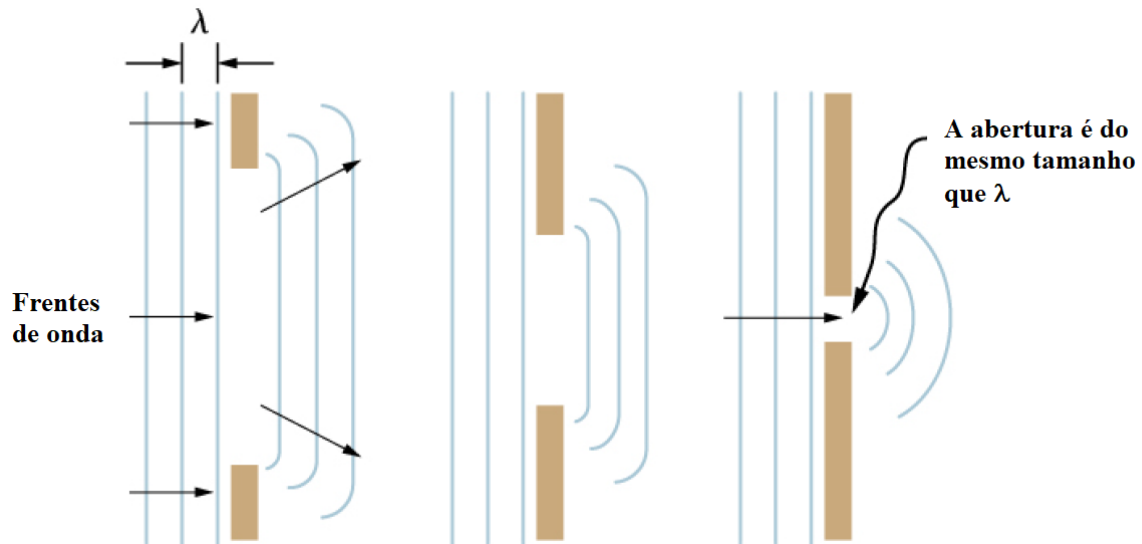
A observação de fenômenos e o uso de experimentos através dos tempos nos informam que a difração ocorre de acordo com o comprimento de onda, ou seja, para a luz atravessando uma fenda, o fenômeno da difração só vai ocorrer quando a fenda for pequena, ou melhor, o tamanho da fenda vai ficando pequeno até tornar-se próximo do comprimento de onda da luz. Note a Figura 6 para um auxílio na compreensão.

O comprimento de onda da luz visível está compreendido entre 700 nm ¹⁴, luz vermelha e 400 nm para luz violeta, o que equivale em milímetros a $7 \cdot 10^{-4}$ mm a $4 \cdot 10^{-4}$ mm. Medidas realizadas comprovam que a espessura de um fio de cabelo humano é da ordem de 7×10^{-5} m sendo ideal para verificar a difração da luz e até possível medir a espessura do fio de cabelo.

¹³ Disponível em:< <https://slideplayer.com.br/slide/359069/> >Acesso em 20 de jun. de 2020.

¹⁴ nm sigla para nanômetros que equivalem a 10^{-9} metros.

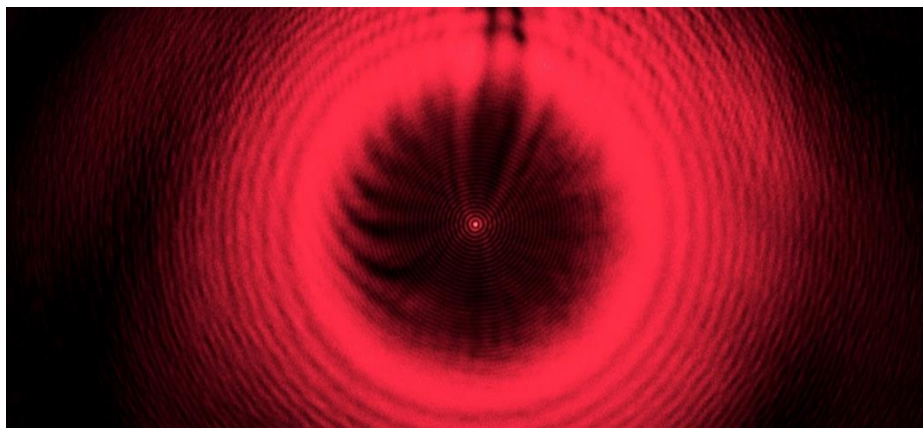
Figura 43: Frentes de onda projetada em uma fenda. À medida que a fenda diminui, fica mais evidente o efeito de difração.



Fonte: Ling, sanny, moebis (2016, p. 32)

A teoria newtoniana dos raios luminosos dominava os debates científicos franceses no início do século XIX, enquanto Augustin-Jean Fresnel, muito jovem e engenheiro militar, acreditava que poderia explicar o fenômeno de difração usando a teoria ondulatória. Ele escreveu um trabalho à Academia Francesa de Ciências, no qual descrevia seus experimentos com a luz e os explicava usando a teoria ondulatória. Fresnel venceu um concurso com o intuito de premiar o melhor trabalho sobre difração. Ele usou uma chapa com furo circular com dimensões da ordem do comprimento de onda da luz usada. Inconformado, Siméon Denis Poisson propôs que a experiência fosse feita com uma esfera ao invés de um simples furo circular. Ele propôs que, se a teoria de Fresnel estivesse correta, as ondas luminosas convergiriam para a sombra da esfera produzindo um ponto luminoso no centro da sombra. A comissão julgadora realizou o experimento e estava lá o *ponto claro de Fresnel*. As franjas de difração desta última experiência são mostradas na Figura 7.

Figura 44 : Uma esfera de aço iluminada por um laser vermelho.



Fonte : Ling, sanny, moebis (2016, p. 145)

O cálculo quantitativo dos efeitos de difração foi possível após a reformulação do princípio de Huygens por Fresnel. Ele acrescentou os efeitos de interferência ao princípio original. As componentes da onda em direções fora da direção de propagação sofrem interferência destrutiva, gerando outra frente de onda que segue o padrão anterior. Acrescenta-se que as ondas que se propagam para trás não são notadas devido a interferência destrutiva nessa direção. Esses novos termos foram adicionados ao princípio de Huygens, que ficou conhecido como o princípio de Huygens-Fresnel:

“... qualquer ponto de uma frente de onda que não seja obstruído, em qualquer instante se comporta como uma fonte de ondas esféricas secundárias, da mesma frequência da onda primária. A amplitude do campo óptico em qualquer ponto após a passagem pelo obstáculo é a superposição das amplitudes das ondas esféricas secundárias, levando em conta suas fases relativas.” (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO 2007)

O motivo pelo qual a luz atinge regiões para além da fenda, regiões inatingíveis para a luz, caso esta não sofresse difração, é que o grande número de ondas secundárias esféricas “emitidas pela abertura” interfere constantemente no anteparo.

A interferência é um fenômeno que se dá quando duas ou mais ondas se superpõem em fase ou defasadas. Faremos uma análise qualitativa das situações mostradas na Figura 8 onde as diferenças de fase são $\phi = 0, \pi$ e $2\pi/3$ rad, com ondas que possuem mesmo número de onda (k) e mesma amplitude (y_m).

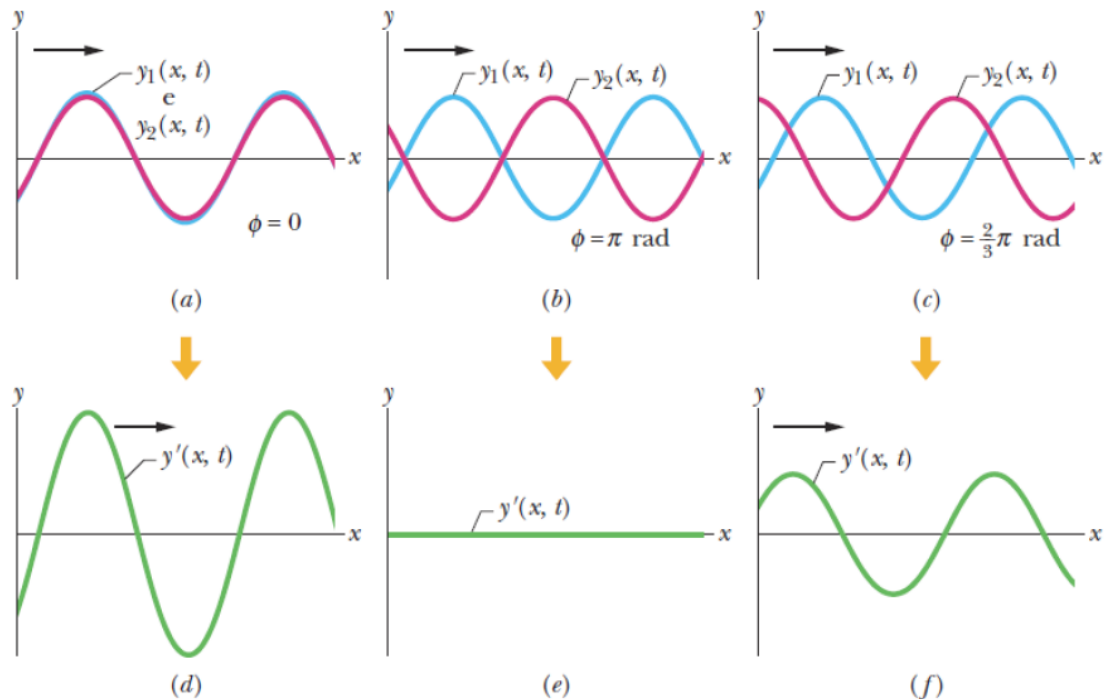
Na Figura 8 em (a) ambas as ondas estão em fase assim a superposição dessas ondas resultam em uma onda com amplitude aumentada de $2y_m$, veja na figura

a seta apontando para o resultado Figura 8(d). Esse tipo de interferência é chamado de interferência construtiva.

Na Figura 8(b) ambas as ondas estão completamente fora de fase assim a superposição dessas ondas resultam em uma onda com amplitude nula, veja a seta apontando para o resultado como ilustrado na Figura 8(e). Esse tipo de interferência é chamado de interferência destrutiva.

Na Figura 8(c) as ondas estão com uma diferença de fase que difere dos dois casos anteriores assim a superposição dessas ondas resultam em uma onda com amplitude intermediária entre 0 e $2y_m$, veja a seta apontando para o resultado ilustrado na Figura 8(f). Esse tipo de interferência é chamado de interferência intermediária.

Figura 45 : Três exemplos de diferença de fase entre duas ondas coerentes.



Fonte: Haliday (2016, p131)

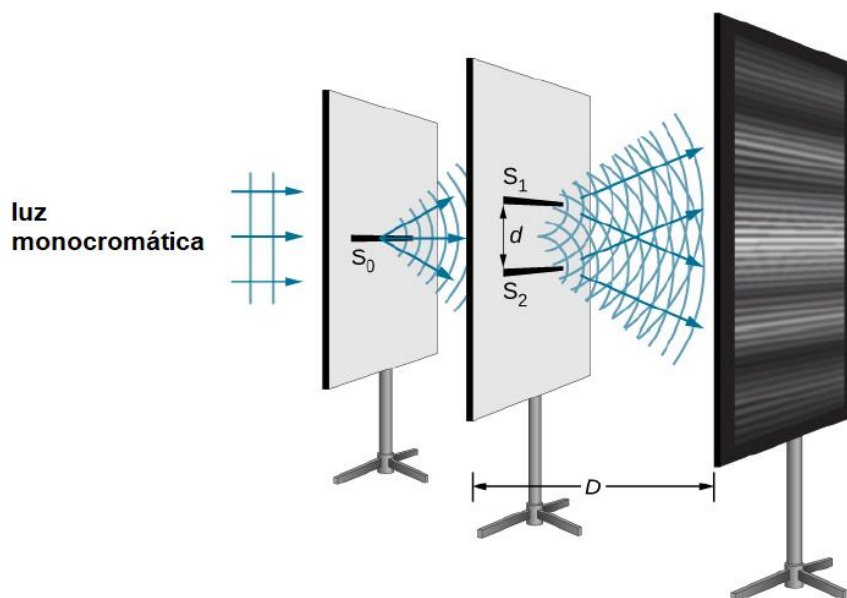
Os fenômenos mostrados acima são perceptíveis se tivermos fontes coerentes que produzam ondas sem variação no decorrer do tempo em relação às outras, e possuindo uma relação de fase constante. Agora, se as fontes forem incoerentes produzindo ondas que variam com o tempo em relação às outras, o padrão de interferência pode até não ser notado pelo observador e, nesse caso, a relação de fase varia continuamente.

5.4. INTERFERÊNCIA DE ONDAS

O experimento de interferência com a luz, feito pela primeira vez por Thomas Young, em 1801, foi determinante para estabelecer-se a natureza ondulatória da luz, pois sabia-se que somente ondas poderiam sofrer interferência. Nesse experimento, uma onda dita plana não pontual e nem monocromática torna-se mais coerente e pontual depois de passar por uma fenda S_0 na primeira placa opaca. Após esse estágio a luz coerente difrata-se através da fenda e é usada para iluminar as fendas estreitas S_1 e S_2 do segundo anteparo. Uma nova difração ocorre quando a luz atravessa essas fendas e duas ondas esféricas se propagam simultaneamente para

a direita interferindo uma com a outra, até incidir numa tela de observação (terceiro anteparo) veja Figura 9.

Figura 46 : O experimento de interferência de dupla fenda usando luz monocromática e fendas estreitas. Franjas produzidas pela interferência das ondas de Huygens das fendas s_1 e s_2 são observadas na tela.



Fonte : Ling, sanny, moebis (2016, p. 119)

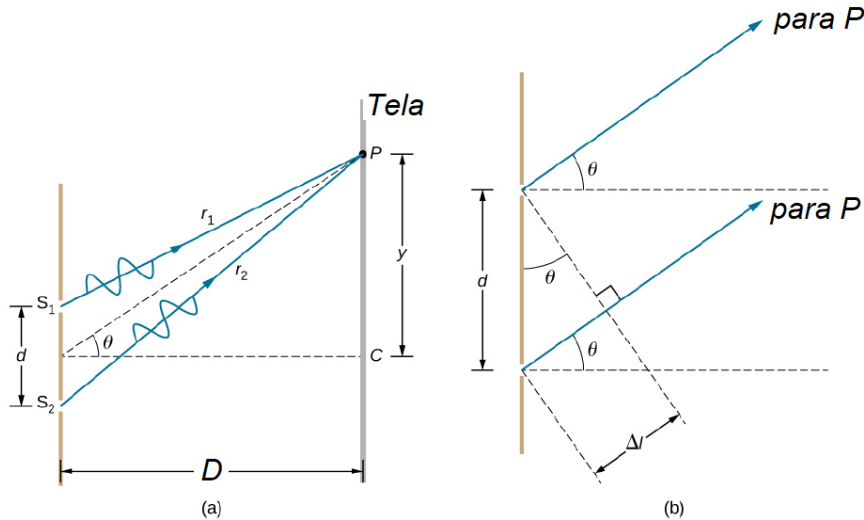
As ondas provenientes de cada fenda superpõem-se e interferem, construtiva ou destrutivamente, em um certo ponto, dependendo da diferença de fase entre elas. Devido a esse efeito, observam-se, em um anteparo colocado na frente das fendas, regiões em que a intensidade da luz é máxima, alternadas com outras em que a intensidade é mínima, como mostrado, esquematicamente, na Figura 9.

Para obtermos esse padrão de interferência, com franjas claras e escuras, as ondas provenientes de cada fenda devem ser monocromáticas (de mesma frequência) e coerentes (a diferença de fase entre elas deve permanecer constante no tempo). A luz de um *laser* tem essas características, tornando-se assim adequada para a obtenção de padrões de interferência.

Podemos usar a Figura 10(a) para representar uma onda plana que incide em uma placa com duas fendas. Nessa figura estão indicadas a separação d entre as fendas, a distância D da placa ao anteparo e o comprimento de onda λ da luz.

Considere o ponto P, situado no anteparo, em uma posição determinada pelo ângulo θ .

Figura 47: Esquema geométrico de duas ondas, representadas pelos raios r_1 e r_2 , passando através das fendas estreitas e interferindo no ponto p.



Fonte : Ling, sanny, moebis (2016, p. 122)

Para atingir esse ponto, as ondas provenientes de cada fenda percorrem distâncias diferentes. Se a diferença entre essas distâncias (Δl , de acordo com a Figura 10(b)) é igual a um número inteiro de comprimentos de onda, essas ondas chegam em fase em P e a intensidade da luz, nesse ponto, será máxima. Se, por outro lado, a diferença entre essas distâncias é igual a um número ímpar de meios comprimentos de onda, as ondas chegam fora de fase em P e a intensidade, nesse ponto, será mínima. De acordo com a Figura 10(b), Δl é o cateto oposto do triângulo retângulo definido por d e a projeção perpendicular de r_1 sobre r_2 . Assim,

$$\Delta l = d \sin \theta \quad (2.4.1)$$

O que nos leva a definir que para interferências construtivas,

$$d \sin \theta = m\lambda, \quad \text{com } m^{15} = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (2.4.2)$$

¹⁵ m é o número que representa os múltiplos comprimentos de onda que interferem construtivamente e destrutivamente: por exemplo para interferências construtivas, quando $m = 0$ temos o ponto luminoso central, $m = 1$ temos o primeiro ponto luminoso após o central. Já para interferências destrutivas quando $m = 0$ temos o primeiro ponto escuro e para $m=1$ temos o segundo ponto escuro e por aí vai. só lembrando que para valores positivos temos pontos acima do ponto central e valores negativos, abaixo do ponto central.

e para interferências destrutivas,

$$d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda, \quad \text{com } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (2.4.3)$$

A posição de cada franja de interferência pode ser calculada através de Y (dado na Figura 10(a)) e considerando a condição de baixos valores de ângulo onde podemos aproximar $\sin \theta \approx \tan \theta$, implicando que, para as franjas claras;

$$\frac{m\lambda}{d} = \frac{Y_m}{D}$$

ou

$$Y_m = \frac{m\lambda D}{d}; \text{ com } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (2.4.4)$$

Aqui Y é a posição da franja não confundir com y_m amplitude.

2.5. Intensidade da Luz no Pontos de Máximos e Mínimos

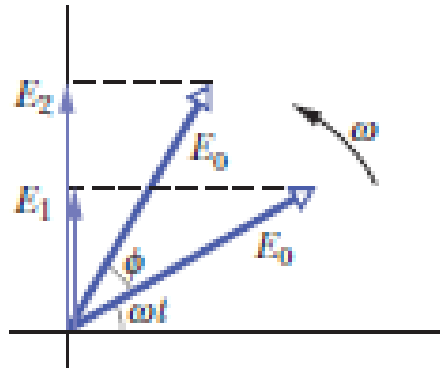
Para calcular a intensidade da luz em um ponto do anteparo trata-se a luz como onda eletromagnética com ênfase ao campo elétrico. Lembrando que é importante que a fonte seja coerente, com fase constante. Caso a fonte seja incoerente com a fase variando no tempo, não se observará a interferência.

Na figura 11 temos a onda eletromagnética, luz, representada por fasores¹⁶ que são formas compactas de simbolizar um sinal.

¹⁶ Fasores, são na realidade vetores que giram em uma determinada velocidade em um círculo trigonométrico, dando origem as funções senoidais. Então toda função senoidal pode ser representada por um fasor. Os fasores possuem muitas aplicações em sistemas de potências.

A notação fasorial simplifica a resolução de problemas envolvendo funções senoidais no tempo.

Figura 48: Fasores representando ondas.



Fonte: HALIDAY,(2016)

A onda que sai da parte superior da fenda e atinge o ponto P, tem seu campo elétrico representado por:

$$\vec{E}_1 = \vec{E}_0 \sin \omega t \quad (2.4.5)$$

e a onda que sai da parte inferior da fenda, atingindo também o ponto P, tem seu campo elétrico dado por

$$\vec{E}_2 = \vec{E}_0 \sin (\omega t + \phi) \quad (2.4.6)$$

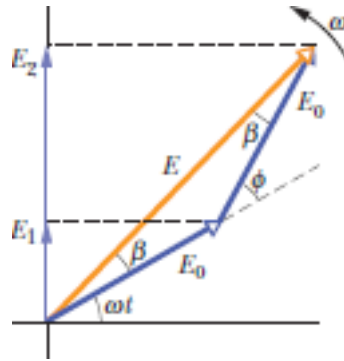
onde ϕ representa a diferença de fase dos dois campos.

Quando as ondas atingem o anteparo há superposição dos campos e o campo resultante é dado pela soma de 2.3.5.1 e 2.3.5.2.

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = \vec{E}_0 \sin \omega t + \vec{E}_0 \sin(\omega t + \phi). \quad (2.4.7)$$

No modo geométrico esta soma é mais trabalhosa, pois usa as propriedades da soma e subtração de senos e cossenos. Usando fasores temos um resultado com menos trabalho. Os fasores E_1 e E_2 podem ser decompostos na direção de E . Veja figura 12.

Figura 49 : Fasores E_1 e E_2 resultando em E .



Fonte: HALIDAY, (2016)

A projeção dos fasores E_1 e E_2 sobre o fasor E resulta em:

$$E = 2E_0 \cos \beta. \quad (2.4.8)$$

E = campo elétrico, E_0 = campo inicial e β é o ângulo entre o campo E e os campos E_1 e E_2 .

Mas o ângulo externo ϕ de um triângulo é igual à soma dos dois ângulos internos não adjacentes a ele: $\phi = \beta + \beta \Rightarrow \phi = 2\beta$, então $\beta = \frac{\phi}{2}$ substituindo em (2.4.8) temos:

$$E = 2E_0 \cos \frac{\phi}{2} \quad (2.4.9)$$

Por outro lado, segundo Haliday "a intensidade de uma onda eletromagnética é proporcional ao quadrado da amplitude..." (Haliday, Fundamentos de Física 4, 2016, 202). Então elevando 2.3.5.5 ao quadrado tenho $E^2 = \left(2E_0 \cos \frac{\phi}{2}\right)^2$ que resulta em:

$$E^2 = 4E_0^2 \cos^2 \frac{\phi}{2} \quad (2.4.9.1)$$

Ainda de acordo com Haliday: "... E_0 , têm uma intensidade I_0 que é proporcional a E_0^2 , e a onda resultante, de amplitude E , tem uma intensidade I que é proporcional a E^2 ." (Haliday, Fundamentos de Física 4, 2016, p.202).

Do exposto temos: $\frac{I}{I_0} = \frac{E^2}{E_0^2}$ Isolando o campo E , $E^2 = E_0^2 \frac{I}{I_0}$ substituindo em

$$2.4.9.1 \text{ temos: } E_0^2 \frac{I}{I_0} = 4E_0^2 \cos^2 \frac{\phi}{2}$$

Simplificando e escrevendo para I :

$$I = I_0 4\cos^2 \frac{\phi}{2} \quad (2.4.9.2)$$

Segundo Haliday a relação entre diferença de fase com diferença de percurso (Haliday, Fundamentos de Física 4, 2016, p.203) [...] é.

Se a diferença de percurso Δl for $\frac{\lambda}{2}$ a diferença de fase será $\phi = \pi$;

Se a diferença de percurso Δl for λ então a diferença de fase é $\phi = 2\pi$;

Se a diferença de percurso Δl for $\frac{3\lambda}{2}$ a diferença de fase será $\phi = 3\pi$

De acordo com as afirmativas escrevemos $\frac{\phi}{2\pi} = \frac{\Delta l}{\lambda}$ isolando o termo diferença de fase, temos $\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta l$, mas lembrando que a diferença de percurso $\Delta l = d \sin \theta$, então:

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta$$

Agora substituindo o valor de ϕ em 2.4.9.2 e simplificando temos:

$$I = I_0 4\cos^2 \left(\frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta \right) \quad (2.4.9.3)$$

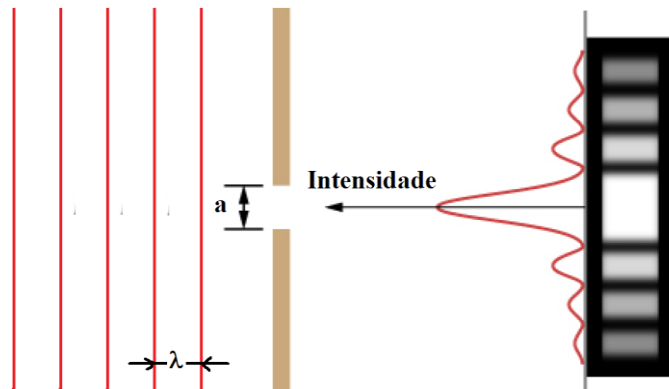
Onde: I =intensidade da onda; I_0 =intensidade inicial da onda; d = tamanho da fenda e θ = ângulo ente os raios r_1 e r_2 que saem da fenda.

5.6. DIFRAÇÃO EM FENDA ÚNICA

Quando a luz, que é composta por ondas provenientes de uma única fonte ou de fontes coerentes, com comprimento de onda λ , atravessa uma fenda de tamanho a , aproximadamente igual ao seu comprimento de onda, forma-se uma figura de difração de uma fenda, que consiste em um máximo central (franja clara) e uma série de franjas claras laterais separadas por franjas escuras (Veja Figura 14). Considerando o eixo central que passa pelo centro da franja clara máxima, os

máximos estão situados aproximadamente a meio caminho entre os mínimos. (difração e interferência)

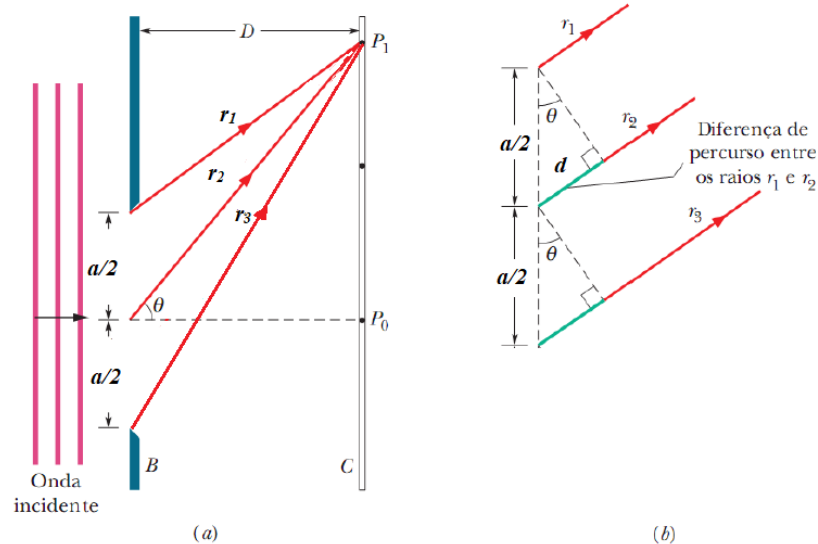
Figura 50 : Padrão de difração e interferência de fenda única. A luz monocromática que passa através de uma única fenda tem um máximo central, o mais brilhante, e máximos secundários (de intensidades menores) e escuros de cada lado.



Fonte: Adaptado de ling, sanny, moebis (2016, p. 145)

Esse efeito pode ser analisado de acordo com o modelo de Huygens — cada porção da fenda atua como uma fonte de luz, pois participa da mesma frente de onda e estão em fase inicialmente, como mostrado na Figura 14(a). As ondas provenientes de cada ponto da fenda podem chegar ao anteparo em fase ou fora de fase, produzindo regiões respectivamente claras ou escuras. Considere o ponto P, situado no anteparo, em uma posição indicada pelo ângulo θ em relação a P_0 . O fato de termos usados aqui setas, não anula as ideias de Huygens, uma vez que elas indicam a direção de propagação das ondas, de onde podemos calcular o caminho percorrido por cada onda.

Figura 51 : (a) Os raios provenientes da extremidade superior de duas regiões de largura $a/2$ sofrem interferência destrutiva no ponto p_1 . (b) para $d \gg a$, podemos supor que os raios r_1 e r_3 são aproximadamente paralelos e fazem um ângulo θ com o eixo central.



Fonte: Adaptada de Haliday (2009 p.113-114)

Inicialmente dividiremos a fenda mentalmente em 2 regiões de largura $a/2$. Os raios r_1 , r_2 e r_3 ligam cada ponto da fenda ao ponto P_1 . Quando o anteparo está muito próximo das fendas, o padrão de difração se torna muito difícil de descrever matematicamente. Para contornar isso, vamos supor que o anteparo esteja muito distante da fenda de forma que $D \gg a$ (como mostrado na Figura 14(b)), o que é de fato o que ocorre experimentalmente. Esse artifício faz com que apareçam vários triângulos retângulos, como o mostrado na Figura 14(b), cujo manejo matemático é conhecido. Nota-se que a diferença de percurso (d) entre cada par de raio é o cateto oposto a θ , em todos os referidos triângulos retângulos. Onde analisaremos as condições de mínimo de difração. Para isso tomaremos os pares de raios vizinhos e sugerimos que a condição de mínimo deve ser satisfeita sempre que a diferença de percursos entre os pares de raios seja meio comprimento de onda, $\lambda/2$.

Desta forma, se a diferença de percurso, d , entre os raios r_1 e r_2 , for $d = \lambda/2$, onde a hipotenusa do referido triângulo é $a/2$, estaremos numa condição de mínimo de difração, logo;

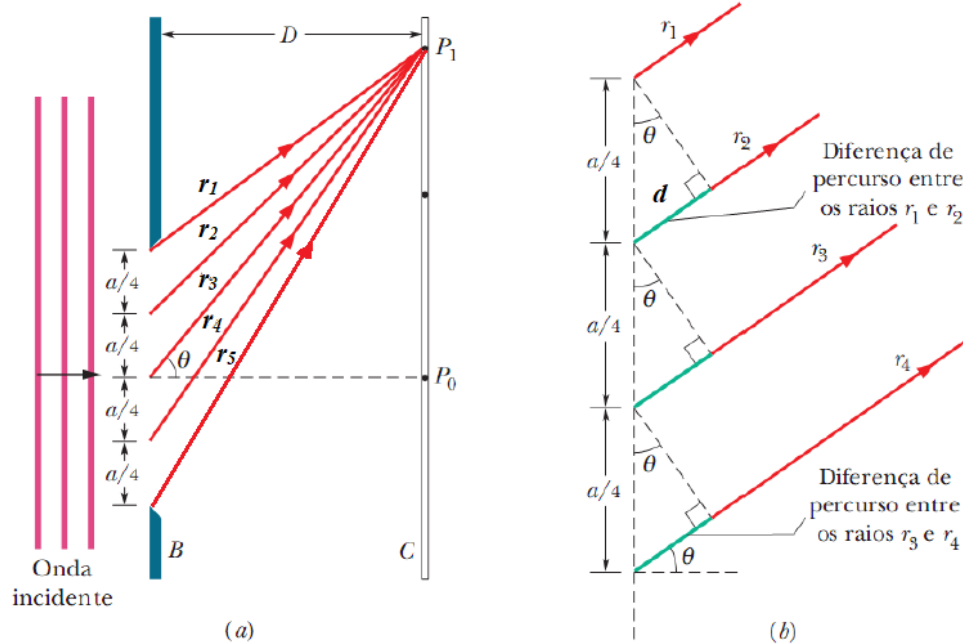
$$\sin \theta = \frac{d}{\frac{a}{2}} = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{2}{a} = \frac{\lambda}{a} \quad (2.6.1)$$

Assim, se fizermos o mesmo procedimento para os raios r_2 e r_3 encontraremos o mesmo resultado matemático, logo, essa é a primeira condição de mínimo de difração, onde

$$a \sin \theta = \lambda \quad (2.6.2)$$

Agora dividiremos a fenda mentalmente em 4 regiões de largura $a/4$, como mostra a Figura 15(a). Os raios r_1, r_2, r_3, r_4 e r_5 ligam cada ponto da fenda ao ponto P_1 .

Figura 52 : (a) os raios provenientes da extremidade superior de quatro regiões de largura $a/4$ sofrem interferência destrutiva no ponto p_1 . (b) para $d \gg a$, podemos supor que os raios r_1, r_2, r_3, r_4 e r_5 são aproximadamente paralelos e fazem um ângulo θ com o eixo central.



Fonte: Haliday (2009, p.114)

Analisaremos a condição de mínimo de difração para esse caso. Desta forma, se a diferença de percurso, d , entre os raios r_1 e r_2 , for $d = \lambda/2$, onde a hipotenusa do referido triângulo é $a/4$, estaremos numa condição de mínimo de difração, logo;

$$\sin \theta = \frac{d}{\frac{a}{4}} = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{4}{a} = \frac{2\lambda}{a} \quad (2.6.3)$$

Assim, se fizermos o mesmo procedimento para todos os outros pares de raios vizinhos, encontraremos o mesmo resultado matemático, fazendo com que seja a segunda condição de mínimo de difração, onde

$$a \sin \theta = 2\lambda \quad (2.6.4)$$

Analogamente se dividirmos a fenda em 6 partes encontraremos a condição,

$$a \sin \theta = 3\lambda \quad (2.6.5)$$

que é a terceira condição de mínimo.

Se continuarmos a dividir a fenda em um número cada vez maior de regiões, chegaríamos à conclusão de que as posições das franjas escuras acima e abaixo do eixo central são dadas pela seguinte condição geral:

$$a \sin \theta = m\lambda, \text{ para } m = 1, 2, 3, \dots \quad (2.6.6)$$

A intensidade das franjas de difração é dada por;

$$I = I_0 \left(\frac{\sin \alpha}{\beta} \right)^2 \quad (2.6.7)$$

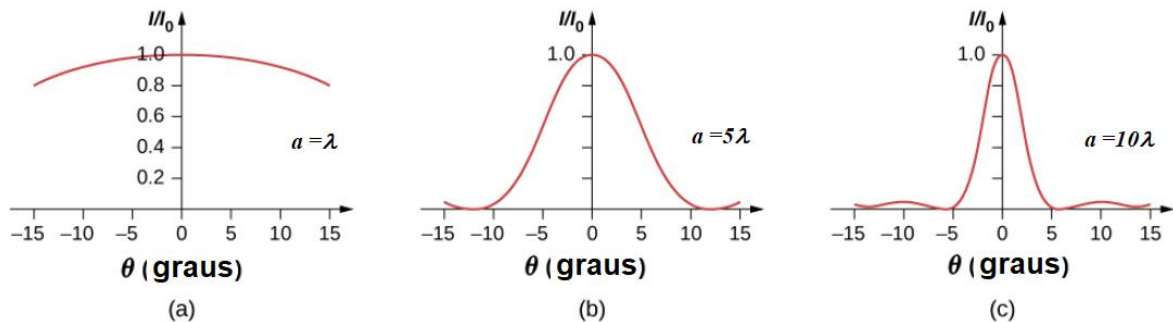
onde ϕ é a diferença de fase entre as ondas que atingem o ponto P, e

$$\alpha = \frac{\phi}{2} = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta. \quad (2.6.8)$$

5.7. DUPLA FENDA

Quando estudamos a interferência no experimento de dupla fenda de Young, naquele cenário as fendas eram tão estreitas que, na tela, você via apenas a interferência da luz de duas fontes pontuais, uma difração eficiente e sem a contribuição da interferência destrutiva. Se a fenda é igual ao comprimento de onda, a Figura 16a mostra que há apenas um espalhamento de luz na tela.

Figura 53 : Padrões de difração de fenda única para várias larguras de fenda. À medida que a largura da fenda d aumenta de $d = \lambda$ para 5λ e depois para 10λ , a largura do pico central diminui à medida que os ângulos dos primeiros mínimos diminuem conforme previsto.



Fonte: Adaptado de Ling, sanny, moebis (2016, p. 155)

No entanto, se você fizer a fenda mais larga, a Figura 16b mostra que já começa a surgir padrão de interferências destrutiva e construtiva. Na figura 16c percebe-se um pico mais estreito devido a uma abertura maior da fenda e maior quantidade de interferências destrutivas e construtivas.

Nesta seção, estudamos as complicações do experimento de Dupla fenda que surgem quando você também precisa levar em consideração o efeito de difração de cada fenda.

Para calcular o padrão de difração para duas (ou qualquer número de) fendas, precisamos generalizar o método que acabamos de usar para uma única fenda. Ou seja, em cada fenda, colocamos uma distribuição uniforme de fontes pontuais que irradiam ondas de Huygens e então somamos as ondas de todas as fendas. Isso fornece a intensidade em qualquer ponto da tela. Embora os detalhes do cálculo possam ser complicados, o resultado final é bastante simples:

O padrão de difração de duas fendas de largura D que são separadas por uma distância d é o padrão de interferência de duas fendas separadas por d multiplicado pelo padrão de difração de uma fenda de largura a .

Matematicamente a intensidade do padrão de difração de dupla fenda é dada por:

$$I(\theta) = I_m (\cos^2 \beta)^2 \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2, \quad (2.7.1)$$

onde

$$\beta = \frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta, \quad (2.7.2)$$

que é um fator de interferência que depende de **d**, distância entre as fendas, e

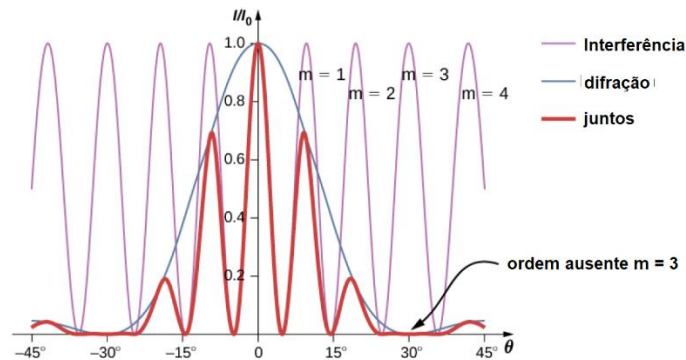
$$\alpha = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta \quad (2.7.3)$$

é um fator de difração que depende de **a** que é a largura das fendas.

Em outras palavras, os locais das franjas de interferência são dados pela equação $d \sin \theta = m\lambda$, a mesma de quando consideraram as fendas como fontes pontuais, mas as intensidades das franjas agora são reduzidas por efeitos de difração, segundo o fator $\left(\frac{\sin \alpha}{\alpha}\right)^2$ da equação 2.3.6.1. Observe que em interferência de ondas, escrevemos $d \sin \theta = m\lambda$ e usamos o número inteiro **m** para nos referir a franjas de interferência. A equação 2.3.5.6 também usa **m**, mas desta vez para se referir aos mínimos de difração. Se ambas as equações forem usadas simultaneamente, é uma boa prática usar uma variável diferente (como n) para um desses números inteiros e mantê-los distintos.

Os efeitos de interferência e difração operam simultaneamente e geralmente produzem mínimos em ângulos diferentes. Isso dá origem a um padrão complicado na tela, no qual faltam alguns dos máximos de interferência das duas fendas se o máximo da interferência está na mesma direção que o mínimo da difração. Nos referimos a um pico ausente como uma ordem ausente. Um exemplo de um padrão de difração no anteparo é mostrado na Figura 17. A linha sólida com múltiplos picos de várias alturas é a intensidade observada na tela. É o produto do padrão de interferência de ondas de fendas separadas e a difração das ondas de uma fenda.

Figura 54 : Difração de uma fenda dupla. O gráfico mostra o resultado esperado para uma fenda de largura $d = 2\lambda$ e separação da fenda $d = 6\lambda$. O máximo de $m = \pm 3$ ordem para a interferência é ausente porque o mínimo da difração ocorre na mesma direção.

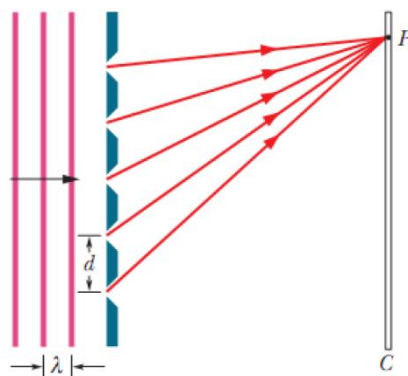


Fonte: Adaptado de Ling, sanny, moebis (2016, p. 156)

5.8. REDES DE DIFRAÇÃO

Uma rede de difração tem um comportamento semelhante a uma fenda dupla exceto pela quantidade de fendas existentes na rede. De acordo com Haliday “um dos dispositivos mais usados para estudar a luz e os objetos que emitem e absorvem luz é a rede de difração” (Haliday, 2009, p.126). A luz ao atravessar uma rede de difração sofre um espalhamento e produz vários pontos de luz e escuridão. (Quando a luz difratada produz pontos de luz estreitos, denominam-se linhas). Na Figura 18 podemos ver uma rede de difração simplificada.

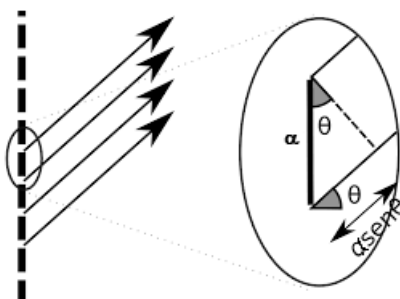
Figura 55 : Rede de difração simplificada.



Fonte: Haliday, fundamentos de fisica iv (2009,p.126)

Para determinar as posições das linhas no anteparo usamos as mesmas considerações feitas para a dupla fenda. Considerando duas fendas vizinhas, veja a ampliação na Figura 19, nota-se que $a \sin \theta = m\lambda$, o mesmo para uma fenda simples ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$).

Figura 56: Múltiplas fendas simplificadas.



Fonte: Adaptada de (Danilo 2016)¹⁷

Se uma rede contém M fendas com espaçamentos iguais a a ocupando largura total A , então $a = \frac{A}{M}$ e a distância A entre a primeira (primeiro raio) e última fenda (último raio) será Ma , que corresponde a abertura total. Então podemos escrever $Ma \sin \theta = m\lambda$ para os raios extremos da rede.

Se determinarmos a distância entre duas fendas, e o tamanho da rede, poderemos determinar a razão M/A (fendas por metro) uma vez que a rede seja homogeneamente espaçada.

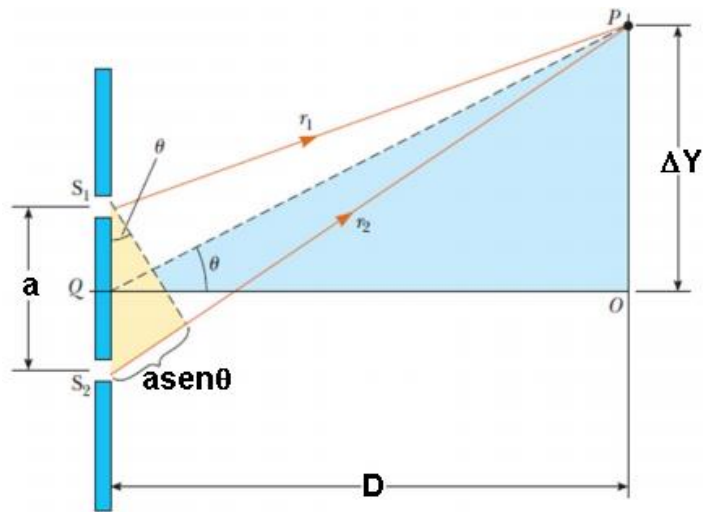
Um CD tem comportamento de uma rede de difração e pode-se determinar a distância entre os sulcos a , veja figura 20, calculando a separação entre duas fendas com o uso de:

$$a \sin \theta = m\lambda \quad (2.8.1)$$

$$\text{Então } a = \frac{m\lambda}{\sin \theta}$$

¹⁷ Disponível em: <http://estudeadistancia.professordanilo.com/?tag=rede-de-difracao>. Acesso em 7 de julho de 2019

Figura 57: Difração entre duas fendas



Fonte: Adaptada de edisciplinas.usp.br¹⁸

o $\sin\theta$ pode ser calculado por

$$\sin \theta = \frac{\Delta Y}{\sqrt{\Delta Y^2 + D^2}} \quad (2.8.2)$$

logo

$$a = \frac{m\lambda \sqrt{\Delta Y^2 + D^2}}{\Delta Y}, \quad (2.8.3)$$

Onde:

a = distância entre os sulcos do CD.

λ = comprimento de onda da luz (a ser pesquisado).

D = distância entre o anteparo e o ponto de incidência da luz no cd.

ΔY = distância entre os pontos de luz no anteparo (franjas).

m = número relativo à fenda (no caso 1 é relativo à primeira fenda).

¹⁸ Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4346103/mod_resource/content/2/SSMHT%20difracao-e-interferencia%20GE-2017_c.pdf Acesso em 15 de agosto 2020.

3 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

PROFESSOR: JOSÉ ALVINO SOUSA FERREIRA

Disciplina: Física

Período: 29/04/19 a 09/05/2019

Números de sequências: 04 Encontros

Tema gerador: DIFRAÇÃO/INTERFERÊNCIA

Subtema: OPTICA

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Conceitual (saber)

- ❖ Identificar as características da Difração e Interferência.
- ❖ Reconhecer a Difração em um fenômeno.

Procedimental (saber fazer)

- ❖ Produzir experimentos com materiais alternativos que demonstrem o efeito da Difração e Interferência.

Atitudinal (saber ser)

- ❖ Pesquisar os vários fenômenos que envolvam a Difração e Interferência.

ESTRUTURA DA AULA

1ª Parte

O/a professor/a iniciará sua aula aplicando um teste para verificar se os alunos possuem a estrutura cognitiva que lhes permita a compreensão da Difração.

2ª parte

Em seguida constrói um mapa conceitual relativo aos conhecimentos e conceitos da óptica: tal como a natureza da luz, ondas, período, frequência e comprimento de onda da luz,

3ª parte

O docente iniciará via exposição de conteúdos dialogando sobre a Difração no cotidiano do aluno relatando exemplos das ondas no mar, ondas sonoras e ondas da luz. Em seguida o/a professor/a falará sobre os conceitos de Difração e a influência do comprimento da onda sobre o efeito da Difração. Explicará também que a Interferência é fundamental no efeito da Difração, Difração por Fenda Simples, contornando um obstáculo, por Fenda Dupla, as Redes de Difração e fundamentos matemáticos.

4ª parte

Após receberem os roteiros, os grupos apresentarão seus conhecimentos adquiridos na forma de experimentos e produções.

5ª parte

Os alunos responderão a um questionário de aceitação da Sequência Didática.

ESTRATÉGIAS DE AVALIAÇÃO

Conceitual

O docente irá fazer um questionário com perguntas abertas e fechadas para verificar se os alunos entenderam os conceitos da aula

Procedimental

Os alunos construirão vários experimentos sobre difração com material alternativo, além de relatório sobre a construção do experimento realizado

Atitudinal

Os alunos divididos em grupos deverão fazer várias pesquisas sobre a difração (redes de difração; aspectos da produção de vídeo; informações sobre estudiosos da difração; difração em um obstáculo) trazer na aula seguinte para dialogar sobre o seu trabalho a ser produzido.

MATERIAL NECESSÁRIO

GRUPO 1: Confecção do experimento difração sobre um fio de cabelo

caixa de papelão, Laser, fio de cabelo, cola, estilete e mesa.

GRUPO 2: Experimento sobre redes de difração

Laser, CD, caixa de papel, suporte e régua

GRUPO 3: Produção de vídeo

celular; caixa de papelão, Laser, fio de cabelo, cola, estilete e mesa.

GRUPO 4: Produção de cartazes

Cartolina, revista ou livros e ainda internet, lápis, lapiseira, tesoura, cola.

Tabela 12- relação de material

MATERIAL	QUANTIDADE	UNIDADE	TOTAL
Caixas de papelão (para calçados)	2	0	0
Laser	3	5,00	15,00
Fio de cabelo	1	0	0
Cola	3	2,00	6,00
Estilete	1	8,00	8,00
Mesa	4	0	0
CD	1	0	0
Suporte	1	15,00	15,00
Régua	1	2,00	2,00
Celular	1	0	0
Cartolina	2	1,00	2,00
lápis	1	0	0

lapiseira	1	0	0
tesoura	1	1	5,00
TOTAL	53,00		

*valores coletados na época

Encontro 1

Informa-se aos alunos os aspectos da sequência, como será a abordagem e logo em seguida aplica-se um teste para verificar se os alunos possuem a estrutura cognitiva que lhes permita a compreensão da Difração. Aferição dos conhecimentos prévios.

ESCOLA:

Professor:

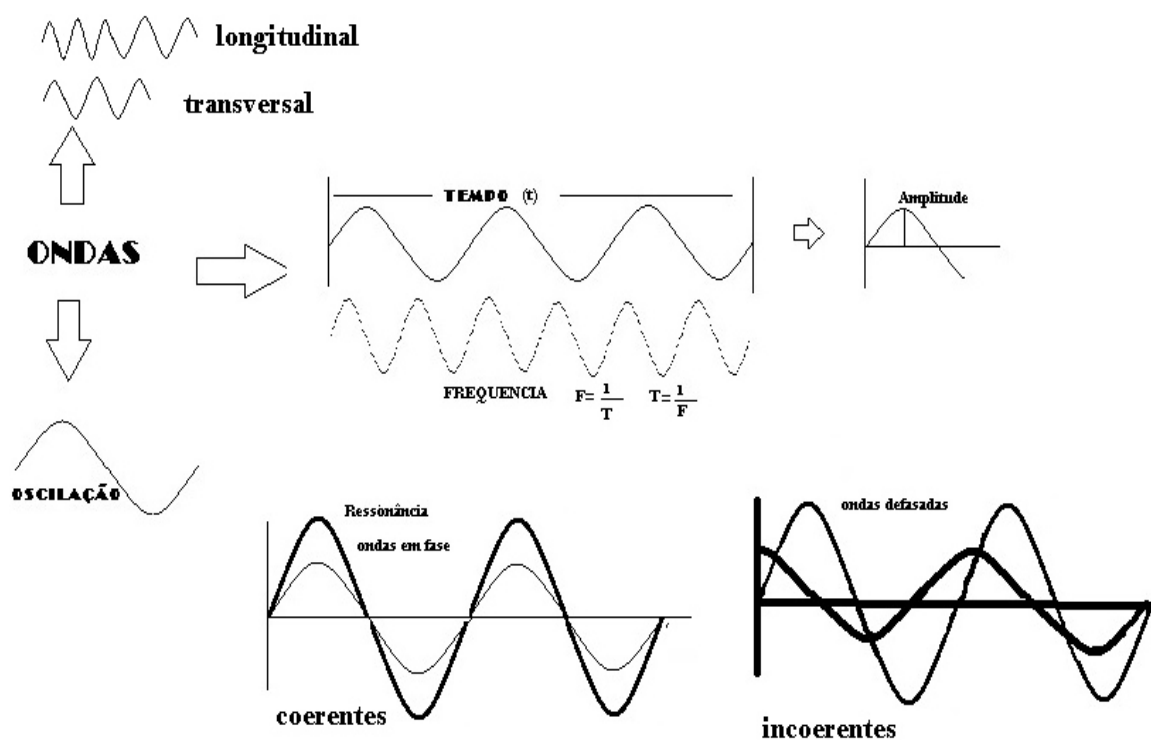
Nome:

1. Você já ouviu falar em movimento oscilatório ou movimento periódico? Se sim, tente explicar o que é e cite exemplo(s).
2. Já ouviu falar sobre ondas, tente definir uma fazendo uma representação gráfica (um desenho).
3. Você conhece quais tipos ondas?
4. Como se produz uma onda?
5. O que é frequência na sua concepção? Explique
6. Você já ouviu falar em ressonância? Se sim, tente explicar o que significa, com suas palavras
7. Você tem conhecimentos sobre interferência de ondas? Explique
8. Já viste alguma figura de interferência de ondas na água? Explique
9. Conhece as relações triangulares: catetos, hipotenusa, seno, cosseno e tangente? Explique
10. Por que você consegue ouvir uma pessoa do outro lado do muro, mas não a vê?

Encontro 2

Após aplicação do questionário e analisa-lo, inicia se uma aula com a construção de um mapa conceitual (como exemplo tem o mostrado na Figura 20) sobre Ondulatória a fim de reforçar os conhecimentos prévios dos alunos sobre: Oscilação, Onda, Frequência, Período, Amplitude, Comprimento de Onda, Ressonância: fase e defasagem, relações métricas no triangulo retângulo reforçando os conteúdos relacionados ao questionário acima.

Figura 58 - Exemplo de Mapa Conceitual



Encontro 3

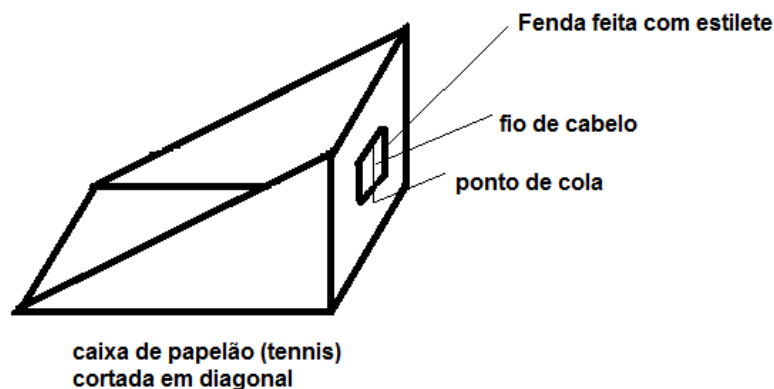
Após o reforço dos conhecimentos prévios introduz-se a óptica geométrica e física culminando com a Difração da Luz e em seguida divide-se a turma em 4 grupos de acordo com o número de temas e a identificação própria de cada grupo com a atividade proposta e deverão produzir os seguintes trabalhos:

7.1. MEDIDA DA ESPESSURA DE UM CABELO

Será necessário caixa de papelão (de tênis), Laser, fio de cabelo, cola, estilete, fita métrica ou régua, caderno para apoiar o laser e mesa (do professor). De posse do Laser instrua cuidados para não apontarem para os olhos das pessoas, pois é perigoso. Uma incidência de Laser nos olhos pode causar danos à retina e cegueira irreversível.

Com o uso de um estilete, corte a caixa em diagonal e faça uma janela aproximadamente 5 x 5 cm, usando a fita métrica, conforme a Figura 21. Usando cola rápida, faça a fixação de um fio de cabelo sobre a janela e teremos uma base para a incidência da luz laser.

Figura 59 - Caixa de papelão preparada para o experimento de difração.

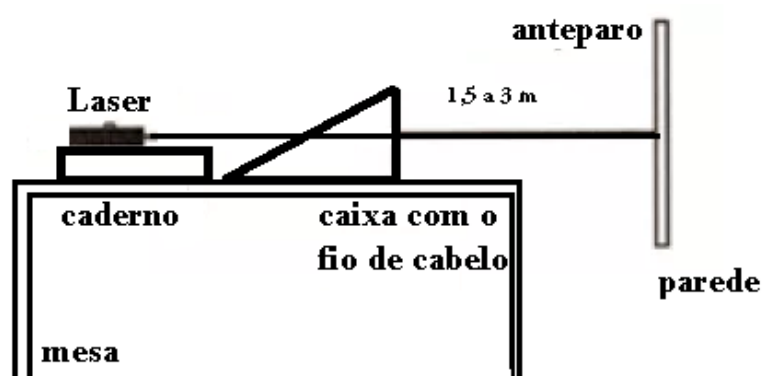


Fonte: Própria

Consiga um aparato (uma parede lisa e branca). Posicione o Laser de modo que o feixe atravessa o fio de cabelo e observe o que acontece com a projeção na parede. O diagrama abaixo, Figura 22, dá uma ideia de como montar seu experimento.

Observe que o fio de cabelo deve ficar a mais ou menos 1,5 metros de distância da parede use a fita métrica para medir.

Figura 60 – Esquema de montagem do experimento.



Fonte: Própria

Ao apontar o Laser para a parede esta deve ser a imagem que você vai obter, Figura 23.

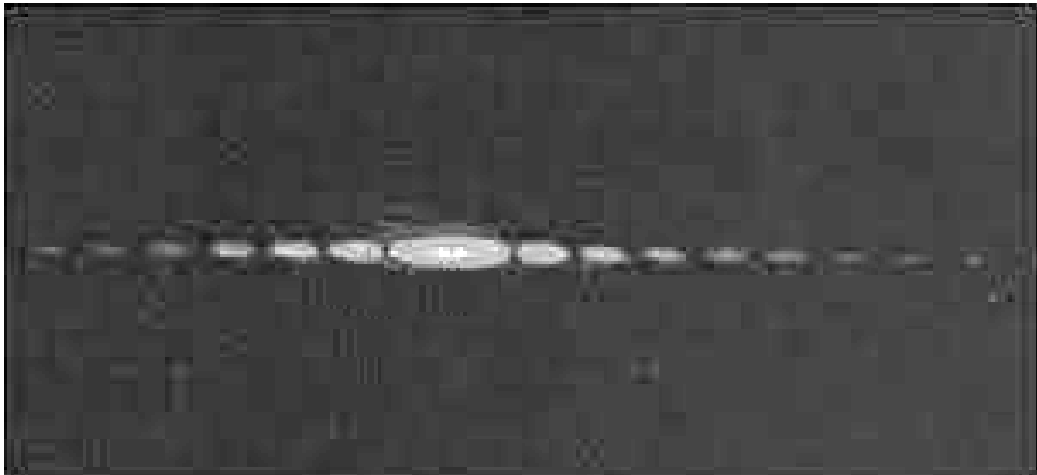
Figura 61 – Ponto de luz obtida com laser.



Fonte: Própria

E ao apontar o Laser para o fio de cabelo, ajustando a sua distância em relação ao Laser e anteparo (parede), você deve obter a imagem abaixo, Figura 24. Como vimos no Capítulo 2, esse fenômeno é a difração da luz usando o fio de cabelo como uma fenda.

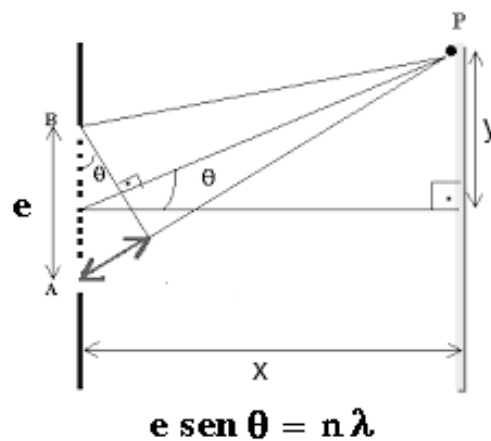
Figura 62 – Franjas obtidas com o fio de cabelo posicionado na frente do laser



Fonte: Própria

Para calcular, a partir do padrão de difração, a espessura de um fio de cabelo vamos esquematizar o problema geometricamente como mostrado na Figura 25. Onde e representa a espessura do cabelo, x a distância do fio de cabelo ao quadro da sala e y a distância do máximo central até a ordem desejada de máximo ou mínimo.

Figura 63 - Esquema de cálculo da espessura do fio de cabelo



Fonte : Própria

Vimos através da Equação 11 da Seção 5.4, que e , x e y são relacionados através de:

$$e = \frac{n\lambda x}{y}$$

λ = comprimento de onda da luz laser (nesta experiência utilizamos os lasers vermelho 680 nm ou verde 530 nm)

X = distancia da caixa ao anteparo (parede), medir com a fita métrica ou régua com máxima precisão.

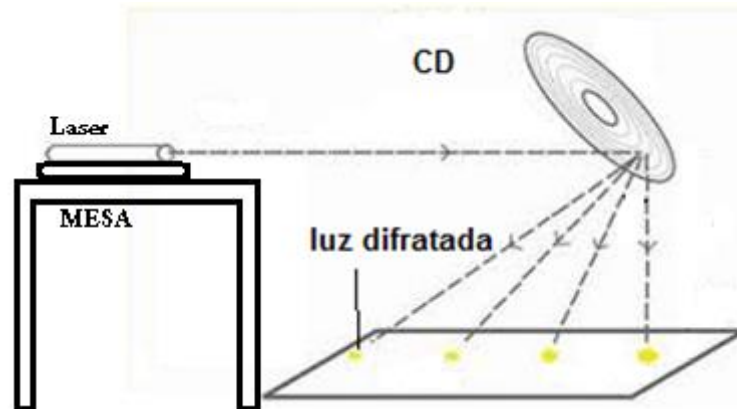
Y = distância entre os dois primeiros pontos de luz do central e o primeiro imediato, medir com a fita ou régua com máxima precisão.

7.2. EXPERIMENTO SOBRE REDES DE DIFRAÇÃO

O aluno não encontrará dificuldade em obter Laser, CD, caixa de papel, suporte e régua. Ao apontar o laser para o cd e acionar o botão vai obter por reflexão (rede de reflexão) pontos de luz espaçados se estiver com a camada brilhante. Pode usar também um DVD (digital vídeo disc), mas a distância entre os pontos de luz refletidos será bem maior.

Embora a superfície do CD ou DVD pareça lisa e brilhante há furos microscópicos de aproximadamente $0,1 \mu\text{m}$ de profundidade e $3,3 \mu\text{m}$ de comprimento formando sulcos (pits) e afastados por $1,6 \mu\text{m}$ em espiral, sendo que o comprimento de onda da luz visível está na faixa de $0,4 \mu\text{m}$ a $0,7 \mu\text{m}$ então percebe-se que os sulcos (fendas) estão próximos do comprimento de onda da luz e o CD pode ser considerado uma rede de difração pois tanto uma rede de difração quanto um CD ou DVD têm o mesmo princípio de construção.

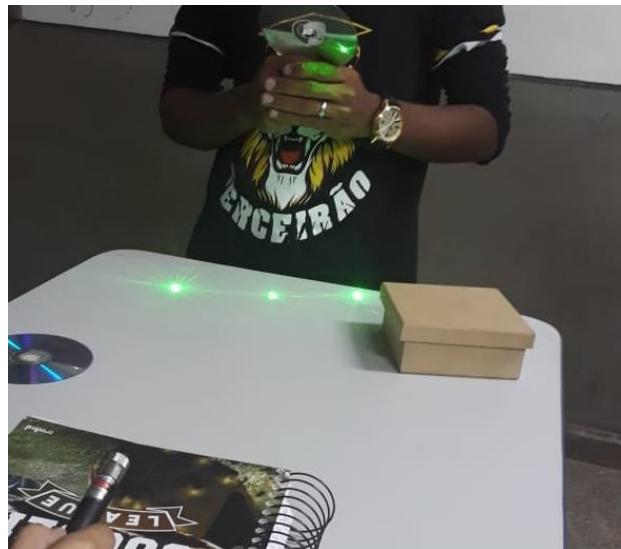
O esquema de montagem do experimento para visualizar o efeito da rede de difração pode ser visto na Figura 26.



Fonte: Adaptada de portaldoprofessor.mec.gov.br

A Figura 27 mostra alunos se preparando para a realização da experiência usando um laser e um CD.

Figura 65 - Experimento demonstrando os feixes espaçados produzidos pela rede



Fonte :Própria

O aluno poderá calcular a distância entre as fendas usando $\alpha \sin \theta = m\lambda$

$$\alpha = \frac{m\lambda}{\sin \theta} \text{ o } \sin \theta \text{ pode ser calculado por } \sin \theta = \frac{\Delta y}{\sqrt{\Delta y^2 + d^2}}$$

Onde

α = distância entre os sulcos (fendas)

m = número relativo à fenda (no caso 1 é relativo à primeira fenda)

λ = comprimento da onda da luz (a ser pesquisado) (vermelha 680×10^{-9} ou verde 530×10^{-9} m)

Δy = distância entre os pontos de luz no anteparo (franjas)

d = distância entre o anteparo e o ponto de incidência da luz no cd

7.3. PRODUÇÃO DE CARTAZ

Esta é uma tarefa que parece bem menos complicada e que vai obter grande aceitação por parte da turma e trata-se também de outra forma de expressão do conhecimento, que é um meio de apresentação e fixação de conteúdo. Os alunos podem usar sua arte em desenhos e produção textual para seu entendimento e propagação das informações.

Neste trabalho orienta-se a produção de cartazes para que estes contenham a história e desenhos ou imagens de vultos da Física responsáveis pelo estudo da difração.

Com o uso do material Cartolina, revista ou livros e ainda internet, lápis, lapiseira, tesoura, cola, grupo responsável pelo(s) cartaz(es) deve pesquisar em livros ou internet a biografia de Huygens, Fresnel, Fraunhofer e Grimaldi produzindo seu próprio texto fazendo referência também ao trabalho do cientista, inserindo (colando) desenho ou figura recortada de revista descartada ou jornal no cartaz. Um modelo de cartaz é apresentado na Figura 28.

Material necessário: Cartolina, revista ou livros e ainda internet, lápis, lapiseira, tesoura, cola.

Figura 66 - Exemplo de Cartaz



Fonte : Própria

7.4. PRODUÇÃO DE VÍDEO

Atualmente o processo de expansão midiática permitiu qualquer pessoa produzir um vídeo, mesmo aqueles que possuem pouca intimidade com um celular. Para um melhor aproveitamento, basta direcionar o uso do dispositivo, uma vez que o mesmo se torna um recurso auxiliar bem barato.

Daí o aluno pode muito bem expressar o que aprendeu sobre certo assunto produzindo um vídeo ressaltando seu conhecimento adquirido.

O grupo de alunos responsável pelo vídeo devem reproduzir o experimento filmar e reproduzir vídeo + áudio explicando o funcionamento da difração. Utilizando o material: celular; caixa de papelão, Laser, fio de cabelo, cola, estilete e mesa.

Após apresentação da produção aplica-se um questionário de aferição dos conhecimentos obtidos de cada aluno de modo individual. Abaixo temos a sugestão de um questionário para avaliar os conhecimentos obtidos podendo ser aplicado ou não, ficando a cargo do professor uma vez que haja uma avaliação qualitativa e quantitativa durante as etapas da Sequência Didática.

Escola

Nome

Atividade sobre Difração.

1 - Thomas Young (1773-1829) fez a luz de uma fonte passar por duas fendas paralelas antes de atingir um obstáculo e observou no anteparo o surgimento de regiões claras e escuras. Marque a alternativa verdadeira a respeito desse fenômeno:

a) Trata-se do fenômeno da refração, em que a luz tem condição de passar por obstáculos.

pequenos obstáculos, as ondas mecânicas tendem a contorná-lo.

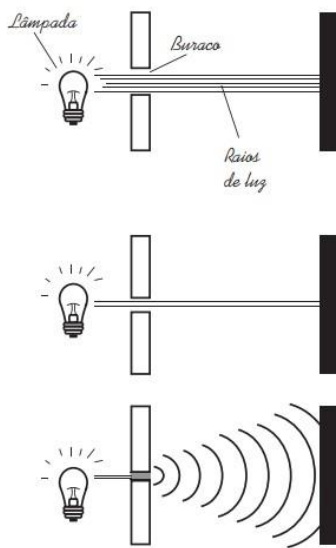
b) Trata-se do fenômeno da difração, que ocorre somente com ondas mecânicas.

c) Trata-se do fenômeno da difração, em que, após a passagem por pequenos obstáculos, as ondas tendem a contorná-lo.

d) Trata-se do fenômeno da polarização, em que, após a passagem por pequenos obstáculos, as ondas tendem a contorná-lo.

e) Trata-se do fenômeno da difração, em que, após a passagem por

2 - Ao diminuir o tamanho de um orifício atravessado por um feixe de luz, passa menos luz por intervalo de tempo, e próximo da situação de completo fechamento do orifício, verifica-se que a luz apresenta um comportamento como o ilustrado nas figuras. Sabe-se que o som, dentro de suas particularidades, também pode se comportar dessa forma.



FIOLHAIS, C. Física divertida. Brasília: UnB, 2000 (adaptado).

Em qual das situações a seguir está representado o fenômeno descrito no texto?

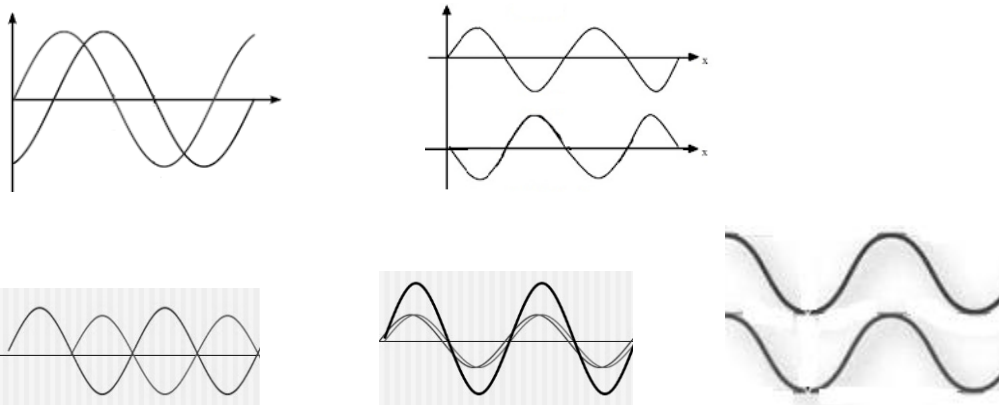
- a) Ao se esconder atrás de um muro, um menino ouve a conversa de seus colegas.
- b) Ao gritar diante de um desfiladeiro, uma pessoa ouve a repetição do seu próprio grito.
- c) Ao encostar o ouvido no chão, um homem percebe o som de uma locomotiva antes de ouvi-lo pelo ar.
- d) Ao ouvir uma ambulância se aproximando, uma pessoa percebe o som mais agudo do que quando aquela se afasta.
- e) Ao emitir uma nota musical muito aguda, uma cantora de ópera faz com que uma taça de cristal se despedace.

3 – A respeito da difração, assinale a opção falsa:

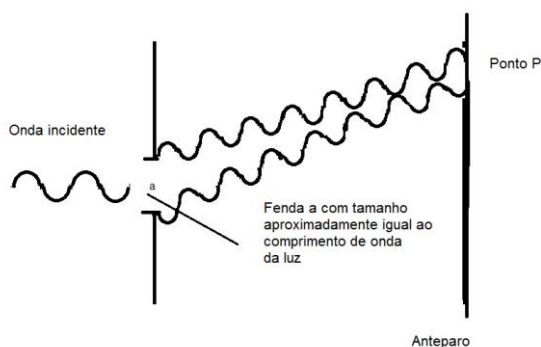
- a) O som se difrata mais do que a luz, porque o seu comprimento de onda é maior.
- b) Os sons graves se difratam mais do que os sons agudos.
- c) A luz vermelha se difrata mais do que a violeta.
- d) Para haver difração em um orifício ou fenda, o comprimento de onda deve ser maior ou da ordem de grandeza das dimensões do orifício ou fenda.
- e) Apenas as ondas longitudinais se difratam.

4 - Enumere as figuras e descreva:

- c) Quais estão em fase
- d) Quais estão defasadas (fora de fase)



5 – Observe a figura de interferência de ondas e descreva se no ponto p está ocorrendo uma interferência destrutiva ou construtiva.



6 – As interferências construtivas e destrutivas correspondem a pontos respectivamente:

- b) Escuro e claro b) Claro e escuro
- e) Azuis d) verdes e) nada

7 - Um CD (*Compact Disc*) ao receber luz visível, mostra o espectro de cores contida na luz. Isto ocorre porque o CD se comporta como:

- a) rede de difração
- b) placa polarizada
- c) prisma refrator
- d) lente refletora
- e) nada

8 – Qual foi o precursor dos estudos sobre difração da luz?

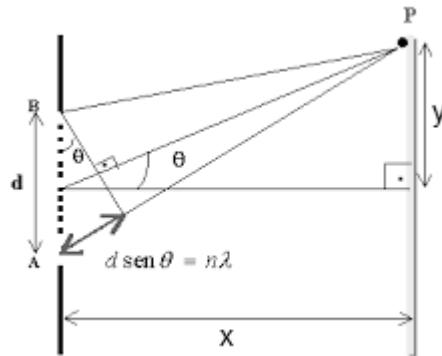
- b) Newton b) Thomas Young c) Huygens d) Francesco Grimaldi
- e) nda

9 – Na foto da difração do fio de cabelo demonstrada pelos alunos, temos um ponto central luminoso e pontos tracejados significando:

- f) Pontos de interferência construtiva e destrutiva
- g) Pontos de luz laser
- h) Reflexos do fio de cabelo
- i) Espessura do laser sobre o fio de cabelo
- j) Nada



10 – Na figura determine a espessura do fio de cabelo iluminado com luz verde de comprimento de onda $\lambda = 500\text{nm}$, ou seja, $5 \times 10^{-5} \text{ cm}$



d = espessura do fio de cabelo; y = distância entre o centro luminoso e o primeiro ponto escuro ($0,01\text{m} = 1\text{cm}$) (obs.: isto faz com que $n=1$); x = distância entre o fio de cabelo e a parede ($1\text{m} = 100\text{cm}$).

Use $\rightarrow d = \frac{\lambda x}{y}$ (como demonstrado na aula sobre difração da luz)

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Destaca-se aqui que este trabalho foi efetuado em uma escola estadual do estado do maranhão, mesmo não tendo alcançado sucesso, e não sendo um material detentor do conhecimento absoluto, serve para incentivar e conquistar alunos que anseiam por outras formas de abordagens de conteúdo. A Sequência Didática produzida obteve grande aceitação na escola em que lhe deu origem sendo um instrumento altamente atraente para os alunos que jamais vão ver uma sombra produzida, um arco íris, ou até mesmo um fenômeno marítimo com a mesma visão, além disso esta Sequência Didática vem a ser mais uma ferramenta para somar com outras já existentes, podendo inclusive servir de inspiração para abordagem de outros assuntos e práticas produzidas por colegas docentes.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Lei Nº 9394 de 20 de Dezembro de 1986**. [S,l][2016?].Disponível em:<http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/lei9394_ldbn1.pdf>. Acesso em: 30 de jul. 2018.

———. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais** (Ensino Médio). Brasília, 1999. Disponível em: < <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>>, Acesso em 26 de abr. de 2019.

———. Base Nacional Comum Curricular (BNCC). **Educação é a Base**. Brasília, MEC/CONSED/UNDIME, 2017. Disponível em :< http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf>. Acesso em 27 de maio de 2020.

CAVALCANTE, M.A.; TAVOLARO, C. R. C. Uma Oficina de Física Moderna que Vise a sua Inserção no Ensino Médio.**Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 18, n. 3, p. 372- 389. dez. 2001.São Carlos. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/download/10027/9274>>. Acesso em: 31 de jul. 2018.

LING,S. J., SANNY, J. and MOEBS, W., **University Physics**, Volume 3, OpenStax, Houston, 2016.

Haliday, Resnick, Walker. *Fundamentos de Física 4*. Rio de Janeiro : LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2016.

IFPR Oficina do Ensino de Física. *Passei Direto*. s.d. Disponível em:< <https://www.passeidireto.com/disciplina/oficina-do-ensino-de-fisica?ordem=1>> (acesso em 29 de julho de 2018).

MACHADO, João Vitor Hayashi. “Fisicfa - BONJORNNO - Exercícios de Física envolvendo Energia...” *EBAH*. 2016. Disponível em:< <https://www.ebah.com.br/content/ABAAAfJbMAD/fisicfa-bonjorno>> (acesso em 01 de Outubro de 2018).

TERRAZZAN, Eduardo Adolfo. A inserção da fisica moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau.Cad.Cat.Ens.Fís.,v.9, n.3: p.209- 214, dez .1992. [S,l].Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/7392/6785>>. Acesso em: 31 de jul. 2018.

